一种光纤通道轻量 IP 上层协议

徐亚军 张晓林 郭蔡健 熊华钢

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100083)

摘 要: 在光纤通道网络平台上选用一种可用于性能测试的上层协议是网络测试手段的关键. IP 上层协议技术已经十分成熟,在 IP 上层协议的基础上提出了一种光纤通道轻量 IP 上层协议,详细地规定了轻量 IP 上层协议的通信模式和数据格式。利用光纤通道接口设备 IP 驱动程序,通过中间层驱动插入的方法实现了光纤通道轻量 IP 上层协议的数据通信,并通过 FC 分析仪检测到实现结果符合设计的要求. 最后分析了轻量 IP 上层协议短消息传输效率高、通信模式灵活简便、节点标识易于实现的优点,所以轻量 IP 上层协议适用于光纤通道网络性能的测试.

关 键 词: 航空电子; 光纤网络; 网络协议; 测试

中图分类号: TP 393.04

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)10-1246-04

One lightweight internet protocol over fibre channel

Xu Yajun Zhang Xiaolin Guo Caijian Xiong Huagang

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

Abstract: One upper level protocol of fibre channel (FC) should be properly adopted for FC physical network testing. Internet protocol (IP) over FC is one important upper level protocol of FC and is very mature. Based on IP over FC, one new lightweight internet protocol (LIP) over FC was proposed. Transmission mode and data format of LIP over FC was defined. Based on device driver program of IP over FC, the communication of LIP over FC was implemented by embedding intermediate driver in Microsoft 2000 operating system. FC analysis instrument can be used to take stock of the implement result. Data format of result is accord with design. Using LIP over FC, the communication efficiency of short messages can be enormously improved. Transmission mode of LIP over FC is very simple and flexible, identifier of FC nodes is easy to achieved. So LIP over FC is adapt to test physical network capability of FC.

Key words: avionics; fiber optic networks; network protocols; testing

光纤通道(FC,Fibre Channel)的高带宽、低延迟、低位错率和灵活的拓扑结构[1],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,光纤通道是一种完全开放的标准,作为一种以 COTS(Commercial Off-The-Shelf)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,光纤通道成为未来航空电子系统互连的首选标准之一. 将光纤通道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,网络测试方法和测试手段又是网络性能测试的关键[2]. 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.

本文提出了一种光纤通道轻量 IP(Internet

收稿日期: 2005-12-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10477005)

作者简介: 徐亚军(1976-),男,河北石家庄人,博士生,xuyajun@ee.buaa.edu.cn.

Protocol)上层协议,并介绍了在 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,最后分析了光纤通道轻量 IP 上层协议用于 FC 网络性能测试的有效性.

1　FC 及其上层协议

FC 是美国国家标准委员会的 X3T11 小组于 1988 年开始制定的一种高速串行传输协议,采用通道技术控制信号传输,在共享介质时采用基于仲裁或交换的信道共享冲突解决机制和基于信用的流量控制策略. FC 的传输速率已达到4 Gbit/s,并正在向 10 Gbit/s 发展. FC 支持网络和通道传输两种方式,支持光电等多种物理介质,可以提供不同质量、不同带宽的通信服务[1]. FC 主要用来实现大容量、高速度的数据传输.

光纤通道是由 5 个不同层次的功能(FC-0,FC-1,FC-2,FC-3 和 FC-4)组合起来的,各层之间技术相互独立,留有增长空间,并且由被认可的标准化机构进行开发,分层结构如图 1 所示. 其中 FC-4 是光纤通道协议结构的最高一层,定义了光纤通道的应用接口,规定了上层协议到光纤通道的映射[1].

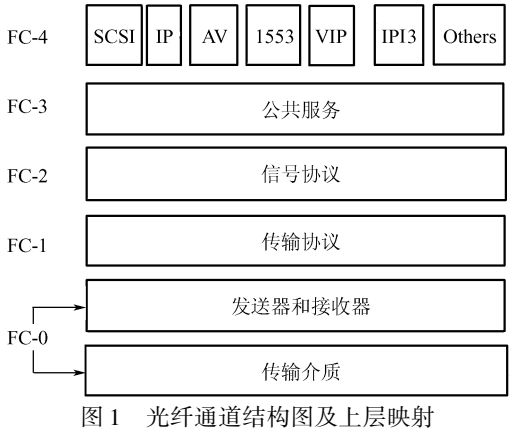


图 1　光纤通道结构图及上层映射

FC-4 层提供了在光纤通道上使用现有协议的方法. FC 节点只需提供高层协议要求的底层传输服务,而上层协议则通过 FC-4 提供的映射来实现. 因此,FC 并不包括本地的上层协议,它通过 FC-4 来支持多种其它上层协议,如图 1 所示. FC 支持的上层协议中,目前技术已经比较成熟的有用于局域网的 IP,用于存储应用的 SCSI(Small Computer Systems Interface),用于传输视频、音频、射频信号传输的 FC-AV(Audio Video)和用于分布式计算机群集的 VI(Virtual Interface). 另外,目前专门有一个研究 FC 用于航空电子环境的分委员会,并制定了一组专门的 FC 标准子集 FC-AE (Avionics Environment),主要作用是描述并发展对 FC 基本标准的航空电子增强专用系统[3].

2　轻量 IP 上层协议的设计

2.1　FC 上层协议映射机制

所有 FC 帧应该遵循图 2 所示的帧格式. 一个 FC 帧是由帧起始标记定界符、帧内容、帧结束标记定界符组成. 帧的内容是由帧头、载荷区及循环冗余校码组成[1].

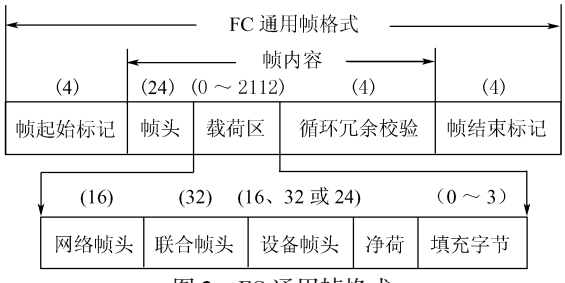


图 2　FC 通用帧格式

在 FC 帧的载荷区中存在可选帧头,可选帧头提供给 FC-4 层来映射上层协议. 可选帧头包括:网络帧头、联合帧头和设备帧头. 如果有网络帧头,则它应该是数据字段的前 16 Byte. 如果有联合帧头,则它应该是数据字段接下来的16 Byte. 如果有设备帧头,则它应该是数据字段接下来的 16,32 或 64 Byte. 如果没有可选帧头则不会在数据字段保留这些字节位置[1].

2.2　光纤通道 IP 上层协议

IP 上层协议命令在 FC-4 层称为一个操作命令,一个操作命令一般包括一组双向的数据传输,对应于光纤通道底层的一个交换(exchange). IP 一个数据包在 FC-4 层称为一个信息单元,对应于光纤通道底层的一个序列(sequence),如图 3 所示. FC 交换由一个或者多个序列组成,一个序列可以包括一个或者多个数据帧.

一个 IP 数据包映射到一个 FC 序列,其映射格式如图 4 所示. IP 上层协议映射采用可选帧头中的网络帧头来标识源节点和目的节点地址. LLC/SNAP 帧头是逻辑链路控制(LLC, Logical Link Control)和子网接入协议(SNAP,Sub Network

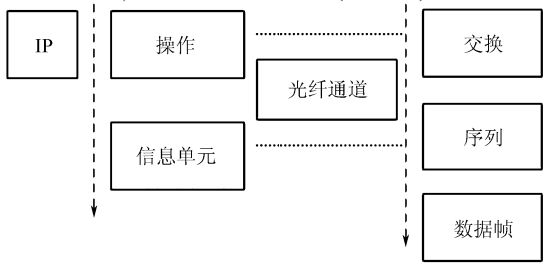


图 3　IP 上层协议映射机制

Access Protocol)帧头,用来路由或者桥接非开放式系统互连协议数据单元. IP 帧头和 IP 可选帧头用来完成 IP 协议的数据传输机制,映射为可选帧头中设备帧头[4].

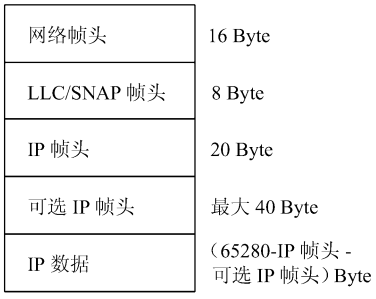


图 4 IP 上层协议映射的 FC 序列格式

网络帧头由 8 Byte 的源节点网络地址和 8 Byte的目的节点网络地址组成,如图 5 所示. NAA(Network Address Authority)用来表示网络地址的命名注册权,应定义为"0001",表示网络地址的低 48 位为 MAC(Media Access Control)地址,网络地址的高 12 位应该设置为全"0"[4].

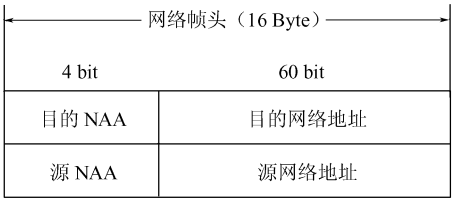


图 5 网络帧头格式

LLC/SNAP 帧头由 3 Byte 的 LLC 和 5 Byte 的 SNAP 组成. IP 协议上层映射时,LLC 应为"AA-AA-03";SNAP 应为"00-00-00-08-00",其中最后 2 个字节"08-00"表明子网接入协议为 IP 协议[4].

一个 IP 数据包最大为 65 536 Byte,其中预留 256 Byte 作为 FC 协议映射的开销,目前已使用了网络帧头(16 Byte)和 LLC/SNAP 帧头(8 Byte),其余 232 Byte 保留. IP 数据包余下的 65 280 Byte 包括了 20 Byte 的 IP 帧头和最多 40 Byte 的 IP 可选帧头,其余用来传输 IP 数据. FC 的一个信息单元最大可以传输 2^{32}-1 Byte,远大于 65 536,但是每个 FC 帧最多可以容纳 2 048 Byte. 所以,一个 IP 数据包对应于一个 FC 序列时,可能有多个 FC 帧,上述序列映射格式只出现在序列的第一个 FC 帧载荷区的最前面,后面的 FC 帧只传输数据[4].

2.3 光纤通道轻量 IP 上层协议

为了 FC 性能测试的需要,在 IP 上层协议的基础上,将较为复杂的 IP 通信机制变为简单的点到点数据传输,仍然采用 IP 地址的节点标识方式,则形成一种简化的上层协议,定义其为光纤通道轻量 IP 上层协议(LIP,Lightweight Internet Protocol). 轻量 IP 协议传输格式具体规定如下:

1) 使用 MAC 地址来标识通信节点,采用和 IP 上层协议一样的网络帧头格式;

2) 去除 IP 的数据传输机制,不再使用 IP 帧头和 IP 可选帧头;

3) 作为轻量 IP 的映射机制,保留 LLC/SNAP 帧头,前 6 Byte 定义与 IP 相同;但是由于不使用 IP 传输机制,最后 2 Byte 不再设置为 IP 协议代码,而是直接用来传输数据;

4) 由于不使用 IP 传输机制,所以一个单向数据传输的大小不再受 IP 数据包大小的限制(最大为 65 536 Byte),只受 FC 信息单元大小的限制(最大(2^{32}-1)Byte).

5) 上述序列映射格式只出现在 FC 序列第一个帧的载荷区中,所以一个序列最大的数据传输量为 2^{32}-1-网络帧头-LLC/SNAP 帧头+2;

采用轻量 IP 上层协议传输数据时,其对应的 FC 序列格式如图 6 所示.



图 6 轻量 IP 上层协议映射 FC 序列格式

3 轻量 IP 上层协议的实现

3.1 中间层驱动程序

在 Windows 2000 操作系统网络驱动程序结构下,有一套开发网络驱动程序的标准,称为 NDIS(Network Driver Interface Specification). NDIS 为网络驱动的开发提供了一套标准的软件接口,使得网络驱动程序的跨平台性更好[5]. NDIS 提供以下几个层次的接口:

1) NDIS 微端口驱动,即网络接口卡设备驱动,负责接口卡和系统内存的数据交换.

2) NDIS 协议驱动,实现传输协议栈,负责分配数据包给低层驱动程序.

3) NDIS 中间层驱动,是 Windows 网络驱动程序接口标准引入的一种 NDIS 驱动程序,嵌在协议驱动和底层微端口驱动之间. 中间层驱动对上面协议层表现为一个虚拟的微端口网卡结构,对下面微端口则表现为一个协议层结构. 中间层驱动具有很大的数据管理权限,可以对经过的数据包进行各种操作.

微软公司提供了 Windows 2000 DDK(Drivers Develop Kit)开发包用于中间层驱动程序的开发[6].

3.2　轻量 IP 上层协议的实现方法

目前 FC 网络接口卡实现 IP 上层协议的接口驱动已经十分成熟,但是这种接口程序是不开放的. 在 Windows 2000 系统下,利用 IP 上层协议的接口驱动,通过 NDIS 中间层驱动插入轻量 IP 上层协议的传输机制,可以实现轻量 IP 上层协议的传输,其层次结构如图 7 所示[7].

<table>
<tr><th>OSI 模型</th><th>FC 模型</th><th>IP 结构</th><th>轻量 IP 结构</th></tr>
<tr><td>应用层</td><td rowspan="3">上层应用</td><td>应用程序</td><td>应用程序</td></tr>
<tr><td>表示层</td><td rowspan="2">SOCKET
套接字</td><td rowspan="4">中间层驱动</td></tr>
<tr><td>会话层</td></tr>
<tr><td>传输层</td><td rowspan="2">协议驱动</td><td rowspan="2">IP/TCP
协议栈</td></tr>
<tr><td rowspan="2">网络层</td><td>FC-4</td><td rowspan="2">驱动程序</td><td rowspan="2">驱动程序</td></tr>
<tr><td>FC-3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">链路层</td><td>FC-2</td><td rowspan="3">FC 接口卡</td><td rowspan="3">FC 接口卡</td></tr>
<tr><td>FC-1</td></tr>
<tr><td>物理层</td><td>FC-0</td></tr>
</table>

图 7　IP 和轻量 IP 上层协议的层次结构

3.3　轻量 IP 上层协议的实现结果

采用上述中间层驱动插入的方法实现轻量 IP 上层协议通信,其实现结果可以通过 FC 分析仪进行观察,FC 分析仪观察到的一个实例传输结果如图 8 所示.

可以看到通过 FC 分析仪观察到的轻量 IP 上层协议传输格式同 2.3 节定义的格式相同. 说明中间层驱动插入的方法很好地实现了光纤通道轻量 IP 上层协议的传输.

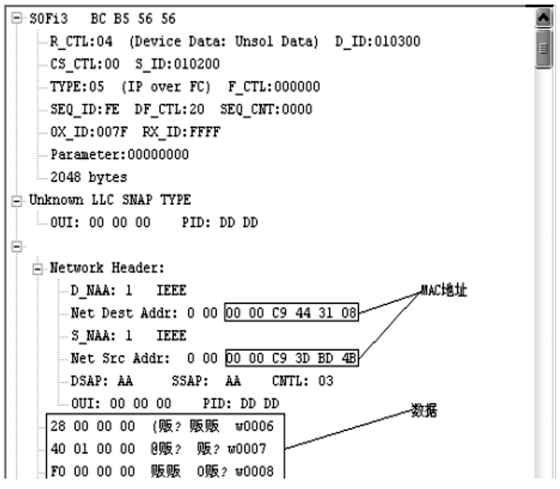


图 8　IP 轻量上层协议传输格式

4　轻量 IP 上层协议适用性分析

4.1　短消息传输效率

由于协议格式的不同,各种光纤通道上层协议的传输效率不同. 对于 IP 协议而言,其 FC 序列第一帧的通信开销为 80 ~ 120 Byte,后续各帧为 36 Byte;轻量 IP 协议,其 FC 序列第一帧的通信开销为 58 Byte,后续各帧为 36 Byte;根据 FC-AE 中的 FC-AE-1553 协议映射标准规定,其序列第一帧的通信开销最小为 60 Byte,后续各帧为36 Byte. 整个序列而言,轻量 IP 协议的传输效率最高,FC-AE-1553 的传输效率接近轻量 IP 协议.

对于航空电子系统而言,存在大量短消息的实时传输,这些短消息只需要一个数据帧就能够传输完毕,所以研究 FC 序列第一帧的传输效率具有重要意义.

对于一个数据帧可以完成的短消息,当传输 x 字节的数据时,IP 协议最大传输效率 $E_{\text{IP-MAX}}=\frac{x}{x+80}$,最小传输效率 $E_{\text{IP-MIN}}=\frac{x}{x+120}$,轻量 IP 协议的传输效率 $E_{\text{LIP}}=\frac{x}{x+58}$,FC-AE-1553 的最大传输效率 $E_{\text{FC-AE-1553}}=\frac{x}{x+60}$,四者的比较如图 9 所示.

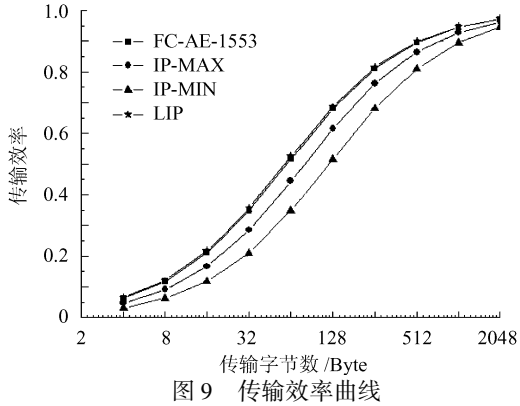


图 9　传输效率曲线

图 9 中的 4 条曲线可以清晰地反映出 3 种上层协议对于短消息的传输效率,轻量 IP 协议明显高于 IP 协议,FC-AE-1553 和轻量 IP 协议十分接近. 航空电子系统尽量采用传输效率高的上层协议传输短消息,FC-AE-1553 就是其中一种,所以从传输效率的角度,轻量 IP 协议适合用于航空电子系统 FC 网络性能测试.

(下转第 1254 页)