

FDDI 网络综述 (上)

吕 勇 (河南洛阳 041 信箱)

摘要: 本文较详细地介绍了有关 FDDI 技术的标准帧结构、混合传输特性、拓扑结构及应用方式等,分析了提高帧吞吐量及增强可靠性的一些技术问题。

一、FDDI 标准

FDDI(光纤分布式数据接口)是美国国家标准协会 ANSIX3T9.5 委员会的标准局网协议,也是建议的针对 100Mbps 光纤定时令牌传送局网的 ISO 标准。它确定了光纤传输介质、令牌访问方式、反向旋转的双环拓扑结构及 100Mbps 的数据传输率。而当前广泛使用的以太网,数据传输率仅 10Mbps; ARCNET 为 25Mbps; IEEE802.5 Token Ring 网为 4-16Mbps。在所有网络协议和接口标准中,只有 FDDI 提供了网络管理能力及多级服务能力。其网络管理能力贯穿于 ISO 模型的物理层和数据链路层,主要用于改善环网的故障隔离、故障恢复及性能监视。FDDI 的双环故障自动闭合能力提高了网络的可靠性。

FDDI 标准共分四个子层:

1. 物理介质相关子层 (PMD)
2. 物理协议子层 (PHY)
3. 介质访问控制子层 (MAC)
4. 站管理子层 (SMT)

它们与 ISO OSI 网络协议的对应关系见下表:

OSI	FDDI	
数据链路层 (DLL)	LLC	
物理层 (PL)	介质访问控制子层(MAC) 物理协议子层(PHY) 物理介质相关子层(PMD)	SMT 站 管理

PMD 和 PHY 子层构成 LAN 的物理层,MAC 和 LLC(链路控制子层)构成数据链路层。在系统管理应用进程的控制下,基于软件的 SMT 提供跨越 MAC、PHY

及 PMD 的管理服务,同时向系统管理实体提供站性能信息。MAC 除了与 PHY 及 SMT 交互操作外,还与上层的逻辑链路控制子层(LLC)保持联系,向其提供服务调用原语。

目前,国际标准化组织已经接收了 ANSI FDDI 标准的前三层作为正式的国际标准,编号分别为 ISO9314-1、ISO 9214-2、ISO 9314-3。SMT 还在进一步讨论中。

1986 年 11 月,ANSI 最先公布了 MAC 子层标准,它规定了定时令牌协议、帧格式、结点的带宽分配及网上传输请求协商的标准;描述了通过介质发送和接收数据的规则;涉及到网络初始化、媒体优先权访问机制、令牌传送地址和环监控等问题,其中包括提供给逻辑链路控制子层(LLC)的服务类型。

MAC 使用了定时多令牌循环协议(TTR),来控制结点访问信息,实现容量分配。所谓多令牌是指获取令牌的结点,在发送完数据后,不必等待回收,即可发送一个新令牌,让其他结点发送数据。TTR 支持帧成批同步传输,也支持突发异步传输或两者的混合传输,另外还支持多帧对话传输,允许两个站点独占整个环路。TTR 保证了环上各站点具有适当的带宽及合理的数据发送时间,其响应时间约为二倍的令牌循环时间。

1988 年 6 月,公布了 FDDI 的 PHY 子层标准。该层的主要功能是构成光纤环。定义了时钟速率、时钟图、数据编码图、网络控制符号和组编码译码的算法及操作方式,还有保持同步用的弹性缓冲器。时钟信号与数据信息混合形成系列位串进行传输,接收时再将时钟与数据信息分离。分离工作由高速相位锁定回路完成。

FDDI 站点内部使用 125MHZ 高速时钟恢复电路, 对抗噪声有很高要求。FDDI 标准规定恢复时钟的有规则抖动时间不能超过 1.5ns, 随机抖动时间限制在 1.8ns 以内。为保证各网络站点时钟与数据的同步, PHY 采用了弹性缓冲技术, 用各站点的弹性缓冲器控制帧空闲符的传输, 通过增加或减少帧空闲符来补偿本地站点时钟与上游站点时钟的偏差。

FDDI 的第三层 PMD 标准是 89 年 9 月通过的。该层内容主要是对结点与光纤介质接口中的光电部分的要求。包括光纤媒介的特性、光纤收发器要求、传输波长, 传输器动力以及不活动工作站的光旁路方法等。FDDI 推荐使用的光纤为 62.5 / 125 微米(芯 / 外层)的多模光纤, 规定线路上两中继器间信号的最大衰减不超过 11dB 当使用单模光纤时其相应协议是 SMF-PMD。

1991 年发布了 FDDI 的第四部分 SMT。它主要负责协调其它三层的活动, 由连接管理(CMT)和基于帧的设备管理组成。连接管理负责建立和维护 FDDI 环路连接, 包括工作站初始化, 环活动监测及对网络故障的隔离、恢复等服务; 基于帧的设备管理功能实现对环网上主机到其它站点的配置及操作状态等信息的获取, 从而达到对网络的性能监视。

FDDI 标准的四层协议实现了 OSI 模式的物理层和数据链路层, FDDI 网络适配卡包含了实现这四层协议的各种机制。通常网卡上的 FDDI 芯片集和光纤收发器接口电路实现 FDDI 的 MAC、PHY 和 PMD 硬件协议。早期的网卡不包括 SMT 软件, 因为该协议发布的较晚。当前 SMT 软件有 5.1、6.1 和 6.2 版, 有的存于卡上的 EPROM 芯片里, 这样便于软件版本的升级。SMT 软件控制网卡上的计数器、定时器及多路复用器, 故障情况下环路的连接主要由多路复用器完成。

二、FDDI 帧结构及其混合传输

FDDI 令牌结构: PA SD FC ED

FDDI 帧结构: PA SD FC DA SA INFO FCS ED

FS

PA 是发送帧的前导码, 通常由 8 个字节组成, 是可变的。各节点利用弹性寄存器, 通过对前导码的增减, 调

节相互之间的时钟同步, PA 前导码一般不能少于 4 个字节。

SD 是帧开始定界符, 由 JK(1100010101)符号对组成, 表示帧的开始。

FC 是帧控制域, 1 个字节长, 指示地址长度、类别、令牌类型、帧类型。\$DA 为目的地址, 2~6 个字节。

SA 是源地址域, 2~6 个字节。

INFO 表示信息域, 范围 0~4500 字节。

FCS 为帧校验序列域, 含 CRC 值, 2 个字节长。通过 CRC 方式, 生成多项式:

$$X^{16}+X^{12}+X^5+1$$

划分对象位, 剩余位是这些字段内的信息, 在发送方计算出它并送出。接收方也同样地计算, 然后将结果与已接收的信息进行比较, 以此检查出传送错误。

ED 帧结束定界符(TT 表示令牌, T 代表帧)

FS 帧状态域, 包括三个状态指示器

E-差错指示器, 指示是否有 CRC 错误

A-地址指示器, 指示地址是否被目的站识别

C-复制指示器, 指示目的站是否复制信息帧

FDDI 的帧类型有以下几种:

- LLC(逻辑链路控制)同步帧
- LLC 双异步帧
- 标识帧
- 争求帧
- 站点管理帧

上述各类帧又有不同的子类, 按多种级别划分, 其中 LLC 同步帧优先级最高, LLC 双异步帧优先级较低, 帧格式中的 FC 域有区分各类别的标志, 以支持多种服务。

标识帧与争求帧都属于填充帧; 前者在自动复位时填充环路, 后者则填充初始化时的环路, FDDI 环路的初始化发生在如下情况:

- a. 有站点加入环路
- b. 有站点退出环路
- c. 令牌丢失

由此看来, 站点的随意入网、退网要引起环网的初始化, 这很容易造成发送帧的丢失, 尤其是轻负载环网, 环路初始化会经常发生。

站点管理帧完成 FDDI 站点管理协议的基本管理功能,其中包括差错统计,配置信息及站点控制命令等。它的优先级可视情况而变,通常按低优先级处理,对具有快速故障恢复要求的系统,优先级会有所不同。

由于高带宽优势,在 FDDI 网上可进行帧的混合传输,混合大致有以下几种情况:

- a.高低优先级帧的混合
- b.LLC 数据帧与站点管理帧的混合
- c.争求帧、标识帧、数据帧与站管理帧的混合

发送一次令牌,可传送许多异类帧,接收站可一次接收含有多种帧的帧序列。在传送过程中,发送站可马上得到传送帧的状态情况,而不需要等到传送过程结束。

帧的混合传输目的是提高网络的帧知吐量,但是混合传输在数据处理上带来了帧分类问题,增加了网络管理的复杂性,如果在接收和存储管理方面不进行适当的处理,反而会适行其反,使网络的帧知吐量下降。

三、FDDI 网络的可靠性分析

整个网络的可靠性主要涉及两个方面,即网络结构的可靠性和网络站点的可靠性。网络结构一经确定,基本上就决定了网络的站点结构以及元器件的选择,高可靠性的网络应具有高容错性和传输上的低误码率,一个高容错性的分布式网络系统应饬如下功能:

- a.能够检测故障的出现
- b.具有宝位故障及其范围的能力
- c.能通过网络重构来隔离故障
- d.能够实现故障恢复,保证网络整体的可用性。

网络的容错主要通过不同形式的软硬件冗余技术实现。在网络拓扑结构上要保证通讯路径的容错,必须提供冗余路径,使得数据传输不至于因线路故障而中断,丢失数据。FDDI 的双环反向拓扑就是典型的路径冗余,这种结构是多环容错方式 FLBH(前向环路后向跳跃)中的一个特例。FLBH 容错网络中,每个站点有一个前向链与相邻的前一个站点连接,还有一个后向链以距离 h 向后跳跃连到某节点, h 的取值不同,形成的拓扑就不同,如令 $h=1$,就是 FDDI 的拓扑结构。前向链是 FDDI 的主环,后向链形成次环,构成双重反向旋转环路。显然,网络的故障诊断能力与网络的连接形式有很

大的关系。FDDI 环形拓扑用如下准则羊断故障:

- a.介质中没有信号
- b.在一个比令牌旋转时间还长的时间内令牌不出现

当一个工作介质出现故障后,另一个可工作介质受命传送各站发送的状态信息,系统根据这些状态信息重构网络。如果出现多个故障,两个介质均不能工作,则在令牌环网中建立前向诊断环,不断地向前建立环路,直到新建的环路不能工作为止,以确定故障位置。通过对来自最后一个可工作诊断环数据的分析,便可定位故障并确定重构方案。重构后,双环网有两种变化方式:即双环路中的单环路或“C”形环路。对于前者,有二种模式:

- (a)内环路模式
- (b)外环路模式

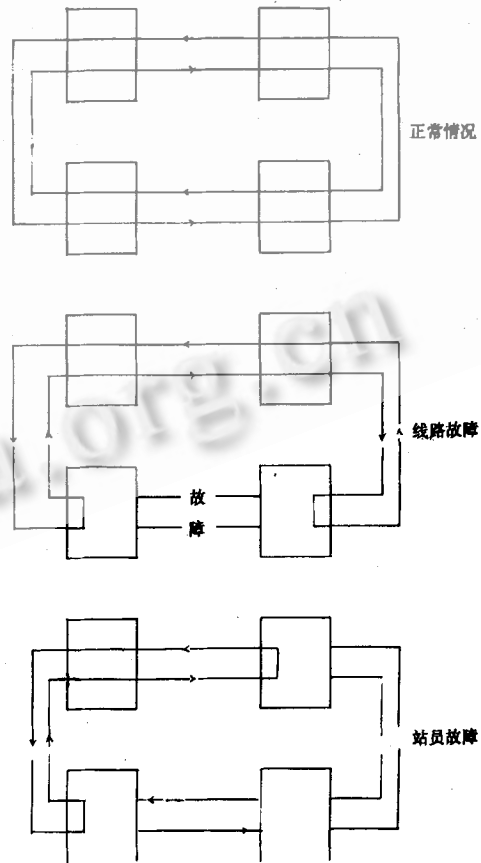


图 1 重构后形成“C”网络模式

“C”形环路方式是由于双环路中间发生故障造成缺口,重构后在环路断裂处的上下游站内部自动连接,形成

“C”状环路,见图三。站点内的多路复用装置负责环的连接,而故障检测、对站点内部环路连接的控制及向网络管理员报错则由站管理软件完成。网络管理应用程序具有环映象特征。环映象记录了映向差错和站点性能,环中站点的能力决定了映象信息的质量和有效性。由于环路串接各节(站)点,因此环映象可反映环路中的站点位置,故障的远程隔离就是通过环映象与差错统计实现的。

每个站点具有良好的故障诊断能力,对整个网络的可靠性保证是非常必要的。为进行故障隔离,FDDI 站点采用了如下装置:

- (1)复制地址检测
- (2)多令牌检测
- (3)环延时定时器
- (4)帧出错计数器

这是比较重要的四种措施,其中复制地址检测用于检查下列情况:

- (1)帧过早拆卸
- (2)返回状态不正确
- (3)邻站通报协议失败
- (4)环映象错误
- (5)不正确的基帧管理域

上述任何情况发生,站点将不进行地址复制。

多令牌常会引起有效帧被重复破坏,虽然遭破坏的帧可自我恢复,然而产生这种破坏的原因如不及时纠正,会严重影响网络性能。多令牌检测就是用来查明这种原因并告知 SMT 的,系统据此加以纠正。

环延时定时器,用于探知网络是否重构过。对于一个已构造好的 FDDI 网,信号通过一个站的典型延时不大于 1 微秒,因此,整个网络的延时是已知的,如果这个时间发生变化,就意味着网络可能已被故障分段了。

帧出错计数器记录本地站点检测到的 CRC 出错的接收帧个数,通过这个计数,可查知站点之间是否有不良的光缆连接,还可测知本地站点是否有硬件故障,如光缆连接器或光收发器等设备故障。帧出错计数器一般是 20 位的计数器。

FDDI 站点可进行自我测试,自己发送接收构成回路,这种测试可快速确定本站介质访问控制层和物理层

的故障,保证了站点的可靠性。

为保证网络整体可靠性及网络性能,主干网上不宜连接过多的站点,比较适合的连接方式是利用集中器从主干网上连出分支,将从多的单机站点与集中器相连入网,形成树型结构。这种结构不但可连接许多站点,而且有较好的灵活性,单个节点的故障或局部配置的变化不会影响全局,有较好的全局可靠性,故障的定位隔离由集中器与站点机共同协作完成。当网上没有信息发送时,中继器产生定时信号,并检测链上来的前一中继器发送的定时信号,如果没有输入信号,则表示前面的链路或中继器有故障,这时该站向集中器发送一个含本站地址的标志帧,集中器参考这一信息就可判断出故障位置,关闭旁路开关,将故障站旁路。无源的光旁路开关通常装在该站边缘,如果它们放置不当,站点下电时,会引起断链。有些网络适配卡上带有光旁路开关,有些不带,需要外接。

当进行网络设计时,误码率是保证网络可靠性比较关键的一个问题,影响误码率的主要因素有二个,光功率的衰减和噪声干扰。

FDDI 标准中规定了两中继器间允许的最大衰减为 11db,在两中继器之间有许多部件会造成光功率的衰减,如单(多)模光纤、光旁路开关、光收发器等。这些器件引起的衰减程序各有不同,1300nm 波长的多模光纤,其衰减的典型值为 2.5db/km 而光旁路开关按物理层标准最大不得超过 2.5db。因此,为了满足 FDDI 标准,不影响误码率,节点间的光缆长度和使用光旁路开关的数目都将受到限制。以使用 1300nm 波长多模光纤为例,两站间距 1 公里,如果要保证最大衰减不超过 11db,则串接的光旁路开关不能多于 3 个。这在网络设计时,应加以重视。

使用信中继器可减少光旁路带来的麻烦,集中器内部有一个有源中继通路,可补偿光功率的衰减。

噪声干扰可严重影响适配器的光收发器和 125MHZ 时钟恢复电路,造成信号失真、时钟假锁和系统时钟的严重抖动。故,对这些噪声敏感部件,应与 TTL 开关等产生噪声的器件有很好的隔离措施,要采用独立的隔离式电源,保证接地质量,以便使噪声干扰降至最小,降低信号传输的误码率。

四、影响网络帧吞吐量的诸因素分析

帧吞吐量问题直接关系到网络性能的好坏,影响帧吞吐量最常见的原因是接收寄存器溢出,造成帧丢失重发,浪费网络带宽,延误信息传送,降低实用性,损失 CPU 处理时间和寄存器空间,造成寄存器溢出。影响帧吞吐量的主要因素有以下几种:

- a.混合帧存储降低处理速度
- b.帧碎片堵塞寄存器
- c.寄存器不足造成帧丢失重发
- d.多帧请求造成不必要的帧重发
- e.中断处理时间不合理
- f.不必要的复制
- g.环初始化造成帧丢失重发

为了减少接收寄存器的不足,把不需要的寄存器空间迅速归还给网络控制器是必要途径。当某页寄存器存入一组帧,系统存储器指针指向处理页面时,网络控制器应能有效地从系统收回存储空间。有一点需要明确, FDDI 的帧是混合传输的,高低优先级的帧合在一起,如果也将它们混合存储,由于处理顺序不同,各页上均有高优先级帧等待处理,所以系统不能作到以页为单位,处理一页,归还一页,这必然要减慢寄存器空间的归还速度,影响寄存器的使用率,降低帧吞吐量,因此,混合传输的帧不应该混合存储。接收方应将其合理存储,以便各帧在适当的处理器上得到按页快速处理,减少不必要的系统开销,提高帧吞吐量。

提高帧吞吐量,还要小心防止过多的不必要信息进入接收寄存器,造成空间浪费和产生不应该的寄存器溢出,这些不必要信息主要有二类,一类是具有广播地址的争求帧与标识帧,在整个这类帧序列中,只需保有第一个帧就可以了,网络管理软件应能识别相同的标识帧与争求帧,并能将多余的帧排除。不必要信息的第二类是帧碎片,源发送站负责对所发帧的拆卸处理,帧的拆卸常常不能处理得很干净,总有碎片产生且继续在环上传送,这些碎片直到某个获得令牌的站点重写帧时才能被消除。在这期间,如遇到目的地址相匹配时,碎片就会被复制到

该站的接收寄存器中。因此,网络管理软件应该具有及时识别与清除接收寄存器中帧碎片的能力。

能够识别一个正确的请求帧,防止不必要的帧发送也是网络管理方面的重要功能。FDDI 的多帧请求机制是要重发全部的帧序列,即使只有一帧传错了,也是如此。对于那些状态不正确的请求帧,发送站放弃多帧请求是正确的,这不但减轻了数据链路层的信息流量,节省了网络带宽,而且提高了 CPU 的处理时间,保存了接收寄存器的空间,改善了全网的效率。

妥善处理好站点处理帧数据的中断时间,也是提高网络帧吞吐量的重要因素,一个 FDDI 结点可随一个令牌发送多个帧,这样,接收站就可一次接收许多数据帧,如果这些帧长度都不大,但帧数又较多,比如共接收到几百个 100 字节的帧,站 CPU 每帧中断一次,每次中断要 8 微秒的时间,这种处理显然是低效的。如果对所接收的全部帧产生一次中断或以 X 帧为间隔产生中断,就能减少中断次数,提高 CPU 的效率。因此,合理地处理中断是改善网络站点帧吞吐量的不可忽视的问题。

前面提到不必要的复制也会降低网络帧吞吐量,这里是指 FDDI 适配卡接收的数据,有些需送往内核空间由 OS 处理,有些需直接送往用户存储区,如果能够正确地对这两方面数据加以识别,分别处理,就可以避免所有数据均先送到内核空间再将部分数据送往用户区的不必要的复制,而且可以防止大量文件传输时产生瓶颈。此外,对于出错数据帧的复制也是一种效率的浪费,要想令处理器能够快速确定出错帧,可以采用将帧状态信息提取出来,形成一个数据描述单元的链式索引的方法解决。

其它不必要的复制可能出现在数据缓冲方式及层间数据结构的不同上,所以数据链路层与网络层间的数据结构一定要匹配,数据缓冲应采用具有可选择字节队列的非链接页面寄存器结构方式,它将数据与控制结构分开存放,控制信息可方便地插入,而不需重新复制数据。通过链接表,驱动器能产生指向数据的控制结构,绝大多数的网络软件程序均采用这种方式实现数据缓冲。而如果采用链接寄存器方案,数据必须由接口驱动器复制到链接寄存器,这就增加了系统开销,必然造成帧吞吐量的下降。

(下期续)