

高速环、树及多通道网络技术分析

李腊元

(武汉交通科技大学 武汉 430063)

摘 要 This paper describes and analyzes some high speed networks for Information Highway. These networks include ring networks: CFR, FDDI; tree networks: Hubnet, CAMB, Tree-Net; and multichannel networks: Multichannel CSMA, Multihop and Mesh networks.

关键词 High speed network, Ring, Tree, Multichannel, Mesh.

一、引言

当前,信息高速公路正方兴未艾,业已引起人们广泛的关注和兴趣。世界各发达国家都制定了相应的战略计划,以建设和发展本国的信息高速公路。该信息技术已成为现代信息社会生产力的重要要素和衡量综合国力的重要标志,同时也是信息化社会的国脉。信息高速公路的基础之一是高速信息网,其信道速率可达 Gbps,并可望到 Tbps 级。为此,本文将对某些典型的高速网络进行论述和分析。

二、高速环形网络

1. 剑桥快速环(CFR)

该网由 Hopper 等人于 1988 年正式提出。其基本原理与剑桥环类似^[3,4]。它采用同轴电缆或光纤作为传输介质,信道传输速率可达 100Mbps。该网的结构由一个或多个环路构成,可连接一般的站点、监控站或网桥等不同类型的节点。监控站主要用于网络初始化和故障状态下的时间片维护等工作。CFR 的信包格式如图 1 所示。

1	1	1	1	16	16	256	12 (bits)
开始	满/空	监控位	类型	目的地址	源地址	数据	CRC

图 1 CFR 的信包格式

在该网中,一个欲发信站点必须先等待上述空时间片的到来,将其满/空位置位,然后方可发送其信包。目的节点接收到此信包后将拷贝该信包的信息,并将 CRC 域设置成适当的内容,以作为对源节

点的应答信息,即除一般的差错校验外,CRC 还可用作目的节点对源节点的反馈信息。此外,CRC 也可用于源节点向目的节点传送有关控制信息。当源节点发完一信包后,将负责对返回信包的满/空位置位。这样可防止某些站点垄断发送权。与此同时,发信节点将根据返回的 CRC 信息,来确定其发送信包是否已被目的节点正确地接收到了,若有误则需重发。

与原型剑桥环不同的是,CFR 有两类时间片:正常时间片和信道(Channel)时间片,其区别由上述信包格式中的“类型”域来标识。如上所述,对于一个正常的时间片来说,一个节点一次只能利用它发送一个信包,即使该节点有多个信包要发送,也必须将返回信包的满/空位置位,顺序下传给其相邻的下游站点使用。为了满足有多个信包等待发送的需求,可使用信道时间片。在这种模式下,忙节点(有多个信包积压)可连续利用该类时间片发送其信包。在 CFR 初始化时,每类时间片均可生成 0 至 15 个。

如图 1 所示,在 CFR 中一个时间片的额外开销均占 16%;而原型剑桥环却占 58%。研究表明,若 CFR 只包含一个具有 7 个节点的单环,且只有一个时间片,那么在正常时间片模式下,其最大点对点带宽为 36.3Mbps;而在信道时间片模式下则为 72.7Mbps^[2]。当 CFR 为一个具有 30 个节点的单环,且含有 4 个时间片,那么在正常时间片模式下,其最大点对点带宽将降到 9.3Mbps;而在信道时间片模式下将会降到 20.3Mbps。研究还表明,在一固定尺寸的环中,提高时钟速率可改善系统带宽,但不能有效地改善点对点带宽。为提高最大点对点带宽,可采

李腊元 教授,IEEE INCOM,ICCC 等国际学术委员,国际论文评委和国际高新技术研究会(IAHT)常务理事。

用具有多个网桥的多个小环结构,且应使桥上信包传输时间尽可能小。在这种结构中,网桥对整个CFR的性能将会发生至关重要的影响。

2. 光纤分布式数据接口(FDDI)环

该网是由美国国家标准协会(ANSI)X3T9.5委员会提出的。它的拓扑结构采用类似于 DDLCN 的双环结构,用光纤作为传输介质,信道速率为 100Mbps,介质访问协议与令牌环协议类似。所不同的是,在 FDDI 介质访问协议中,当某站发送完一个信包后,可立即发出一个新令牌,以供其直接相邻的下游节点能迅速使用。这样,在同一时刻可允许环上有多个信包存在。此特征对于高数据率的 FDDI 是完全必要的。

FDDI 的协议结构可如图 2 所示。

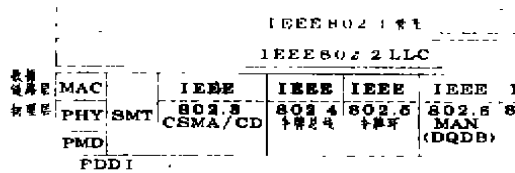


图 2 ISO 参考模型中的 FDDI 协议

图 2 中 PMD 表示物理层相关介质,它定义了物理层的一个较低子层的有关规范,其中包括电平、光发送器和接收器的有关技术特征、光纤接口信号要求、连接器插脚、光缆器件的技术规格及其允许的误码率。PMD 有两种可供选择的规范:基本 PMD 和 SMF(单模光纤)-PMD。发信速率可高达 600Mbps~1Gbps。PHY 表示物理层协议标准,它定义了在本 PMD 和 SONET 链路中的编码/译码、时钟和数据成帧等规范。它可提供同步数字系列(SDH)中,从 STS-3 到 STS-48 的数据率。MAC 为介质访问控制子层规范。SMT 表示站管理。

FDDI 包括基本 FDDI 和 FDDI-I 两种形式。前者由介质访问控制子层、物理子层、物理相关介质子层或单模光纤-物理相关介质(SMF-PMD)子层以及站管理四个部分组成。后者在基本 FDDI 的基础上进行了某些扩展。它不仅可支持分组交换,而且还能支持电路交换方式。它还增加了等时的数据传送功能,使网络能同时处理数据和语音。此外,它还增加了混合环控制(HRC)模块。它可对分组型 MAC 和完全同步 MAC(I-MAC)操作进行选择。

三、高速树形网络

1. Hubnet

该网由 Lee, E. S. 等人于 1983 年发明。当时的信道传输速率为 50Mbps,现已达到 100Mbps。它的拓扑结构由一对有根树互连而成,其结构如图 3 所示。该网采用光纤作传输介质。该对树被叫作选择树和广播树(Broadcast tree)。两棵树的树根在中心轴处被连接起来。树上的内部节点被叫作子轴心(Sub-hub)。站点可通过一种所谓网络访问控制器(NAC)的智能设备连接到每棵树上,形成树的叶节点。每个 NAC 可连接多个站点,它相当于站点和网络之间的接口。子轴心在结构和功能上与根轴心是类似的。

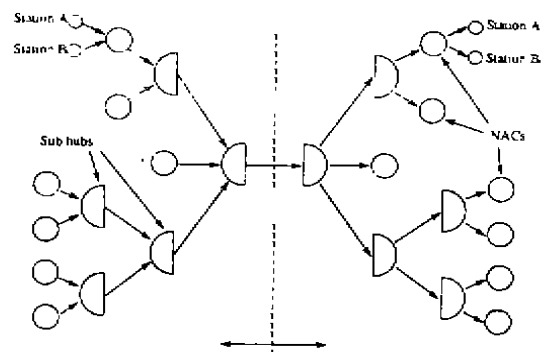


图 3 Hubnet 的拓扑结构

Hubnet 的信包格式如图 4 所示。

非局部信包的附加地址域

DA(SA)	MODE	DA(NL)	SA(NL)	数据
--------	------	--------	--------	----

图 4 Hubnet 的信包格式

在图 4 中,DA 表示目的地址;SA 表示源地址;MODE 表示信包模式;DA(NL)和 SA(NL)分别表示非局部 DA 和 SA。一般情况下,信包由选择树发出,穿过子轴心,抵达选择树的根轴心,并进而传送给广播树的根轴心。此时,信包将被广播传送到 Hubnet 所有的网络访问控制器。除源 NAC 和目的 NAC 外,其余的 NAC 将不需接收此信包。目的 NAC 进一步将该信包传送给目的站点。源 NAC 将处理接收它自己的信包(所谓回声信号),它可看成是广播树上一种低级的应答信息。若在预定的时间内(重发时间间隔)收不到此回声信号,则认为发送

失败,应考虑重发。重发时间间隔与本 NAC 到中心轴之间的往返传输延迟有关。当一信包到达某子轴心或根轴心,它们由于在处理别的信包而来不及接收此信包时,则也将认为此次发送失败,应考虑重发。研究表明,在重负荷下,Hubnet 的子轴心或根轴心将成为系统的瓶颈,信包冲突的概率将会增大。为克服这种状况,可引入优先权机制。

2. 冲突避免多路广播(CAMB)树

该网由 Suda 等人于 1989 年提出。它的拓扑结构与上述 Hubnet 类似。主要区别在于 CAMB 的中间节点均具有根轴心的有关功能。在这种网络中,每个节点都有一个选择器,一个地址识别器和一个广播器(Broadcaster)。其中选择器可用于对来自叶站点的信包进行选择。被选中的信包将由地址识别器来识别其目的地址。若本节点不是信包源站和目的站的祖先节点,则将信包传送给它的双亲节点。若该信包的目的地址正好是本节点的某个叶站点,则应检查广播器的忙/闲状态。若广播器正忙,则应丢弃此信包;否则应将此信包广播传送到其所有的叶站点。在广播该包的过程中,若广播器又接收到其高层节点传来的信包,则应终止当前的广播传送,而将新收到的信包广播出去。这说明在 CAMB 中,双亲节点的信包比子节点有更高的优先权。与令牌协议相比,在低负荷下,CAMB 具有更小的传输延迟。当负荷较均衡时,CAMB 比上述 Hubnet 有更好的吞吐量—延迟特性。CAMB 的不足之处是其结构和管理控制机制较复杂,它要求中间节点及叶站点必须知晓网络中其它站点的有关信息。例如,各中间节点必须知晓其子节点的地址号,此外,CAMB 在重负荷下其访问确定性仍难以保证。

3. Tree-Net

该网由 Gerla 等人于 1988 年发明。它是一种光纤城域网(MAN),其拓扑结构如图 5 所示。它可看成是一种两级结构,其中低级结构包含多个双向总线网络,高级结构是一棵树。低级结构中的总线可通过无源耦合器与树结构相连接。

Tree-Net 采用的是一种虚拟令牌访问协议。在该协议中,每个总线段的末端站点可通过发布一个令牌来启动一个发送周期。总线段上的下游站点即可利用该令牌发送信包,该信包将沿着输出信道,穿过中间耦合器抵达树根。在树根处,折叠的输出信道将变成输入信道(参见图 5)。通过该树的中间节点,

信包将被广播传送到各总线段上的所有输入信道。当前的发送周期一旦结束,即可由另一个末端站点启动新的发送周期。研究表明,在虚拟令牌协议中,访问一个站点的两个连续令牌之间的时间间隔可能会过长,因而它不太适宜支持实时应用,尤其是当网络复盖较大的地理区域时,这个问题将会更加突出。在实现该网时,确定启动新发送周期的末端站点的顺序,应有利于网络的具体实现。它应与网络的结构无关,即增加新总线段不应应对原有的系统发生太多的影响。Tree-Net 由于采用了无源耦合器,因而其可靠性较高。此外,与传统的总线网相比,它可支持更多的站点数目。由于采用了上述虚拟令牌协议,因而其最大传输延迟是有界和确定的。

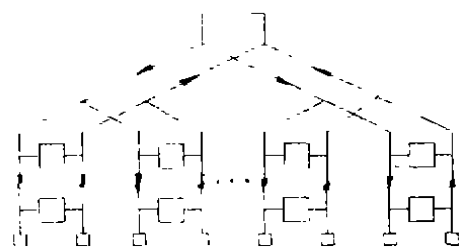


图 5 Tree-Net 拓扑结构

上述几种树形网络实际上也可看成是星-树,星-总线或树-总线构成的混合拓扑结构。

四、高速多通道网络

高速多通道网络主要利用多个并行的通道来提高整个系统的容量,且保持各单个通道上的低数据传输率。这样可使每个信道上的归一化传输延迟 a 尽可能小,从而可克服单个信道在较大归一化传输延迟下的性能下降。这里所说的多通道可以是多个物理通道,即空分多路复用(SDM);也可在单个物理信道上采用时分多路复用(TDM),频分多路复用(FDM)或波分多路复用(WDM)等技术来获取多通道。高速多通道网络的主要优点还可包括以下几个方面:

- 1) 模块化结构有利于系统生长和扩充。
- 2) 单个通道出现故障只会对整个系统带来局部影响,从而增强了网络的可靠性和容错能力。
- 3) 由于单个通道的数据率不高,因而信道接口较易于实现。

多通道的设计思想可广泛应用于各种网络,如

令牌环,寄存器插入环,FDDI和DQDB等。下面仅介绍几种较典型的多通道网络。

1. 多通道 CSMA 网络

这种网络由 Marsan 等人于 1983 年建议提出。其介质访问协议以 CSMA 和 CSMA/CD 为基础。在这类协议中,一个欲发信站点选择通道的方法有两种形式:随机选择(RC)和空闲信道(IC)。在 RC 方式下,一个欲发信站在监听之前随机地选择一条信道。在 IC 方式下,一个欲发信站在已被监听为空闲的几条信道之中,随机地选择一条信道。在 RC 方式中,即使有几条信道是空闲的,也可能会重新安排信包的发送时机。然而,在 IC 方式中,仅当所有的信道均忙时,才可能重新安排信包的发送时机。显然,IC 方式要优于 RC 方式,但无论哪一种方式都可有效地提高网络的吞吐量。这是因为它们均能将系统的有效带宽分离成若干个并行的通道。

研究表明:具有空闲通道选择机制的多通道 CSMA/CD 协议是一种较为理想的介质访问协议。它可允许一个站点选择几个信道同时发送自己的信包。上述 RC 和 IC 方式均可用于该访问协议,并都能获得比原协议更好的效果。

2. 多级跳跃网络(Multihop networks)

该网由 Acampora 等人于 1987 年提出。其原理基于分组无线系统中的多级跳跃链路。它可用于组建高速光纤网络,以克服传统光波网的某些缺点。该网采用了波分多路复用(WDM)技术,以获得多通道。它要求每个站点采用两种或多种波长来发送和接收信包,即每个站点必须按照预定的波长进行发送和接收。关于给站点分配波长的方法目前已开发出多种。其中较有代表性的有两种:一种方法是每个站点分配一些专用的发送通道,以避免两个以上站点共用同一波长发送各自的信包。另一种方法是允许一组站点共用一组发送信道。在该方法中,多个站点可能同时想共用同一波长发送信包,因此需要采取相应的冲突分解措施。为此可引入时分多路访问(TDMA)机制。

为了解波长分配的过程,下面我们以上述第一种方法为例来说明其基本原理。该方法分配波长的原则主要基于以下两点:

1)一个源站只能利用一个特定的波长发送信包;一个目的站也只能接收某个特定波长的信包;

2)中继站点不得利用上述波长发送自己的信

包,任何一对站点之间的连接均可通过网络来建立。

源站点对于分配给自己的波长的选择,与目的地址有关。若源站点选用的波长为 λ_i ,而目的站被分配的接收波长也正好是 λ_i 的话,那么这对站点之间的连接只需经过一步跳跃(hop)。若该目的站点不打算接收此信包,那么源站点将选择一条信道重传此信包,这种选择仍然要根据该信包的目的地址来进行。上述选择过程不仅适用于源站点,同样也适用于途经的中继站点。

研究表明:在多级跳跃网络中,各个站点的吞吐量随着站点数目增加而下降的速率,较之单通道网络要慢得多。该网络的主要优点在于它克服了传统采用 WDM 光波网络的两个不足之处:其一是在一般的 WDM 网络中,要确保一对源和目的站点在连接过程中都变为同一波长,则需要采用相关的机制。这个问题对于预先就分配好发送和接收波长的多级跳跃网络来说就不存在了。其二是在一般的 WDM 网络中,一个站点必须具有快速转变不同波长的能力。而在多级跳跃网络中,由于信包的收发是按预定波长进行的,因而不要求站点具有这方面的能力。多级跳跃网络还具有适应不同拓扑结构的能力。该网的主要缺点是路由选择和路由维护机制较为复杂。此外,由于信包往往需要经过中继,因此有时会浪费一定数量的带宽。

3. 格(Mesh)网

在格形拓扑中,各站点一般是通过专用的点对点链路相互连接起来的。这种拓扑结构在广域网(WAN)中采用得较多。若两个站点之间的信息交互较频繁,则它们可通过有向链路直接连接起来。在一般的格网中,其拓扑通常采用较对称的模式;而在广域网中,其拓扑一般是任意的。在该网中,一个节点往往有多条输入和输出链路,因而给信包的路由选择增加了一定的复杂度。最简单的路由策略—扩散式路由技术可用于格网,但这种技术往往会造成一定的带宽浪费。为了提高网络带宽的利用率,可采用某些较复杂的路由选择技术。这里,我们就不进行详细的讨论了。

格形拓扑的优点主要包括两个方面:其一是由于这种结构增加了并行传输可能性,因而可有效地提高网络的吞吐量。其二是与环形拓扑和总线拓扑结构相比,格形拓扑具有较好的坚定性和容错能力。某段链路发生故障不致于波及全网,或使整个系统

瘫痪(如象单环网那样)。下面简要介绍一种较有代表性的格形网络。

曼哈顿街区网络(MSN, Manhattan Street Network)该网由 Maxemchuk 于 1985 年提出。它采用的是一种对称格形拓扑结构,并包含偶数个行和偶数列,其结构如图 6 所示。同一行或同一列上的各站点被连接成双向环路。每个站点均有两条输入链路和两条输出链路。该网中环路的访问可采用时间片环和寄存器插入环等信道访问技术。研究表明:与传统的环、总线或星形网络相比,MSN 具有更高的吞吐量和可靠性。此外,与采用线性拓扑的双总线或双环的 DQDB 和 FDDI 相比,MSN 具有更加优越的吞吐量、可靠性、容错能力和通信保密性。尤其是作为城域网,MSN 已显示出其独特的优越性。在城域网中,

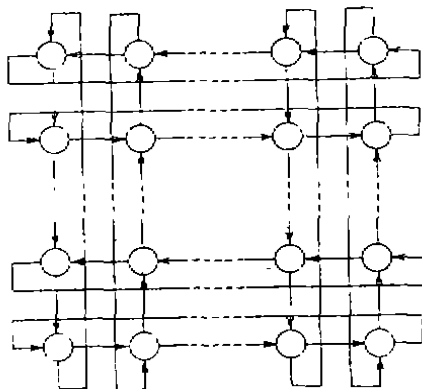


图 6 曼哈顿街区网络

随着入网站点数和信息密度的增大,各用户所能获得的有效带宽将会急剧减少。采用多通道的 MSN 可以有效地增大网络的总容量。随着波分复用技术的不断发展,多条物理通道可用一根光纤连接,多信道也可从波分复用的多波段中获取。当然,MSN 也还存在一些技术问题需要研究解决。由于 MSN 是一种基于二维拓扑的多通道网络,因此它的介质访问、路

由选择、公平性、流控和拥挤控制等要比基于线性拓扑的 DQDB 和 FDDI 复杂得多。MSN 的路由策略可采用基于“熟土豆”原理的折射(Deflection)式路由选择技术以及其它有关的适应式路由选择技术^[1]。在原型 MSN 的基础上,现已开发出某些变种形式,其中较有代表性的是由 Borgonovo 等人于 1987 年建议的 HR¹-Net,其结构实际上是一种双向 MSN,即每个节点连有 4 条输入链路和 4 条输出链路。连通性进一步增强了,但付出的代价是网络的度增加了一倍。

五、结束语

随着信息高速公路技术的不断发展,各种高速局域网络、城域网(MAN)和广域网(WAN),将会在体系结构和通道协议的设计理论和实现技术上出现新的突破。信息高速公路的基础是高速信息网络,它的兴起和实施将会有力地推动网络技术的飞速发展,本文主要论述和分析了一类高速环、树及多通道网络,其中基于二维拓扑的曼哈顿街区网络(MSN)在吞吐量、可靠性及保密性等方面要优于基于线性拓扑的 DQDB(双总线)和 FDDI(双环)。因此,在未来信息高速公路的建设中,MSN 是一种值得优选的高速信息网络。文中介绍的其它网络也可供参考借鉴。

参考文献

- [1] J. Brassil, et. al., The MSN, a high performance, highly reliable MAN, Computer Networks and ISDN systems, Vol. 26, No. 6-8, 1994
- [2] Harmen R. Van As, The evolution towards terabit/s LANs and MANs, Computer Networks and ISDN systems, Vol. 26, No. 6-8, 1994
- [3] 李贻元等,办公自动化,科学出版社,1993
- [4] 李贻元等,计算机局部网络,湖北科技出版社