

24-25

CSMA/CD 与令牌总线、令牌环的相对性能比较

Relative Performance Comparison of CSMA/CD with Token Ring and Token Bus

刘树刚 刘培玉

TP393.1

(山东师范大学计算机科学系 济南 250014)

Abstract This paper introduces briefly the factors that affect the performance of LAN first, and it gives some quantitative index and their relations about performance. Then it compares the performance model and characteristics of CSMA/CD with those of Token Ring and Token Bus.

Keywords LAN, CSMA/CD, Token ring, Token bus, Network performance, Relative performance

一、影响局域网性能的几个因素

影响局域网性能的因素很多,比如网卡和集线器的好坏对局域网的性能就有直接的影响。本文讨论的是与连接的具体设备无关的情况,这样总结出的模型才具有一般性。主要因素有以下几个:

1. 局域网的容量 C 。容量,亦称作速率或速度,它表示单位时间内信道上最多可以传输的比特数,用位/秒(bps)来衡量。比如普通局域网的容量为 10M,快速以太网为 100M 等。

2. 延迟 D 。延迟指的是在计算机之间传输一位数据需要花费多少时间。为精确起见,通常需指明最大延迟和平均延迟。延迟可细分为四种:传播延迟、交换延迟、使用延迟和队列延迟。

传播延迟与信号的传播距离成正比,因信号通过有线或无线信道传播需要时间。交换延迟是由于网络中的电子设备如集线器、交换机等在传输包之前要等包的所有数据都到达,而且发送前选择下一站也需要时间。使用延迟是由于竞争共享介质造成的,因为只有当介质空闲时才能进行通信。象 CSMA/CD 中的冲突检测、令牌环网络中的等待令牌均需花费一些时间。所谓队列延迟,指的是在包交换中存储转发过程要花一定时间。

3. 帧的长度 L 。帧长对局域网性能也有一定影响。若帧太长,一是容易造成浪费,二是容易导致交互性能下降。但帧又不能太短,否则可能检测不出冲突。为灵活起见,常采用可变长度的帧。

4. 网络协议。网络协议对局域网的性能影响很大。组建一个局域网首先要确定采用支持哪一种协议的产品。不同协议各有优缺点,一般而言,总线型网有着较好的交互性能,而环形网能满足大的吞吐量的要求。

5. 提供的负载 G 。提供的负载既包括一个站点成

功发送的帧,也包括由于冲突或出错需要重发的帧,是注入到网络中的实际负载。

6. 站点的个数 N 。当每个站点提供的负载一定时,网络的总负载随站点个数的增加而增加,我们希望网络工作在低延迟区域,避免进入高延迟区域特别是无限延迟区域,所以有必要确定局域网的性能边界,这与站点个数密切相关。

7. 误码率。误码率对网络的性能也有影响。若误码率较高,会导致出错和重发的机会增多,降低性能。目前硬件的可靠性较高,误码率很低。但即便如此,仍须在帧中加上校验码。

二、描述局域网性能的定量指标及其关系

局域网的性能常常定性描述为低速网络或高速网络等,但随着技术的进步,短时间内(半年或一年)曾经是所谓高速的网络可能变成较低速的网络。所以定性描述是不严格的。技术人员常常用延迟、吞吐量等定量指标对网络的性能进行比较,这样才比较准确。

1. 延迟与吞吐量及其关系

第一个性能指标是延迟,即数据从一个站点发出,成功传输至另一个站点所花的时间。第二个指标是吞吐量,即数据通过网络进行传输的速率,也可表述为单位时间内有多少位数据可进入网络。吞吐量的上界是硬件的带宽,比如一个 10Mbps 的以太网,硬件带宽为 10M,吞吐量最高只能达到 10M,而可能平时只有 5M,吞吐量常规范化为容量的因子。

延迟与吞吐量这两个指标理论上独立,实际上相关,因为提供的负载一旦大于网络容量,网络中会发生严重的拥塞现象,当拥塞发生时,进入拥塞网络中的数据显然比进入空闲网络中的数据延迟更大。若以 D_0 表示网络空闲时的延迟, U 为当前网络容量的使用率,则有效延迟 D 可表示为 $D = D_0 / (1 - U)$ 。即当网络使用率增加时,延迟也增加。而吞吐量与延迟的乘积则为网

络上存在的数据量,

2. 参数 a

研究发现,局域网的特性可用数据速率 R 与通信距离 d 的乘积或其变体来描述,而且是决定局域网性能的最重要的参数。 a 可定义为 Rd/VL , 式中 V 为传播速率,约为三分之一光速, L 为帧的长度。 a 决定了一个局域网的利用率的上限,范围一般从 0.01 到 0.1, a 又可表示为 $(d/V)/(L/R)$ = 传播时间/传输时间,若把传输时间规范化为 1,则传播时间为 a ,从而利用率为 $U=1/(1+a)$, a 越小,利用率越高。

三、CSMA/CD 与令牌总线、令牌环的相对性能比较

1. CSMA/CD 的性能模型

最早的专为分组无线网络设计的 ALOHA 可谓 CSMA 的先驱,又称为纯 ALOHA,适用任何共享传输媒体。它的吞吐量 S 与提供的负载 G 之间的关系为: $S = Ge^{-2(1+G)} \approx Ge^{-2G}$, 当 $G = 0.5$ 时, $S_{\max} = 0.5e^{-1} \approx 0.184$,这是吞吐量 S 可能达到的极大值。

在分槽 ALOHA 中,信道上的时间被等分成大小相当于帧传输时间的槽,所有站点同步,帧不论何时产生都只能在每个时槽开始时才能发送,结果信道利用率提高了一倍。它的吞吐量 S 与提供的负载 G 之间的关系为: $S = Ge^{-(1+G)} \approx Ge^{-G}$, 当 $G = 1$ 时, $S_{\max} = e^{-1} \approx 0.368$ 。

CSMA/CD 由于增加了载波监听和冲突检测,性能大为提高,但相比之下对性能的分析更复杂一些。先假定时槽为端到端传播延迟的两倍,也就是从传输开始到检测到一个冲突所需的最长时间,再假设活动站点的个数为 N ,每个站点在一个可用时槽内以概率 p 进行传输。若 A 为在一个时槽内正好有一个站点进行传输并获得媒体的概率,则 $A = Np(1-p)^{N-1}$, 当 $p = 1/N$ 时, $A_{\max} = (1-1/N)^{N-1}$, 把时间规范化,让帧传输时间等于 1,传播时间等于 a ,则传输间隔为 $0.5a$,平均竞争间隔为 $(1-A)/A$, 吞吐量 $S = 0.5a / (0.5a + (1-A)/A)$, $\lim_{N \rightarrow \infty} S = 1 / (1 + 2a(e-1)) \approx 1 / (1 + 3.44a)$ 。

2. 令牌总线 and 令牌环的性能模型

设 C 为一个循环的平均时间, D 为传输一个数据帧的平均时间, T 为传递一个令牌的平均时间,则 $S = T / (D + T)$, 把时间进行规范化,使帧的传输时间等于 1,传播时间等于 a 。当 $a < 1$ 时,一个站点在时刻 t_0 开始传输一个帧,在 $t_0 + a$ 时收到自己帧的开始边界, $t_0 + 1$ 时完成传输,接着产生一个令牌,花 a/N 时间到达下一站点(假设站点间距离相等),一个循环时间为 $1 + a/N$, 传输时间为 1, 则 $S = 1 / (1 + a/N)$; 当 $a > 1$ 时,一个站点在时刻 t_0 开始传输,在 $t_0 + 1$ 完成传输,在 $t_0 + a$ 时收到自己帧的开始部分,接着产生一个令牌,花

a/N 时间到达下一站点,循环时间为 $a + a/N$, $S = 1 / (a + a/N)$ 。总之,

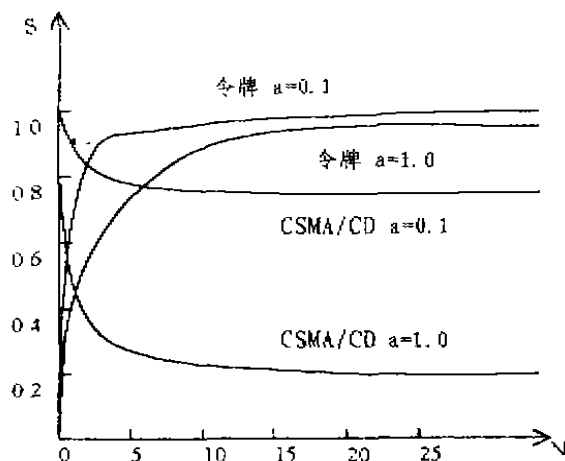
$$S = \begin{cases} 1 / (1 + a/N) & a < 1 \\ 1 / (a + a/N) & a > 1 \end{cases}$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} S = \begin{cases} 1 & a < 1 \\ 1/a & a > 1 \end{cases}$$

作为 N 的函数,性能随 N 增加而改善,因为令牌传递花的时间更少。以上分析同样适用于令牌总线。

3. 相对性能比较

如图所示为 CSMA/CD 和令牌传递的 S - N 曲线,分别以 a 等于 1 和 0.1 为例。



二者性能对比概括如下。

- CSMA/CD 对 a 的依赖非常强烈。
- 对于 CSMA/CD, 帧越长, 吞吐量越大, 要求帧具有最小长度, 当有许多短消息时, 带宽浪费严重。
- 令牌传递对负载不敏感, 媒体饱和时吞吐量并不下降。
- CSMA/CD 在轻负载时提供最短延迟, 但对重负载最敏感。
- CSMA/CD 提供公平的访问机会, 而令牌传递既可实现公平访问, 又可满足优先级的要求。
- 令牌传递中站点传输前的等待时间具有确定性, 是有上限的, 而在 CSMA/CD 中仅服从统计规律。
- CSMA/CD 更适合通信量不大, 交互频繁的场所; 令牌环能满足大的吞吐量要求, 以光纤为介质的 FDDI 则既可作为局域网的主干, 又能胜任广域网的角色; 令牌总线则较适合过程控制和实时应用, 因其物理上为总线型, 逻辑上为令牌环。

参考文献

- 1 Stallings W. 局域网与城域网. 高传善, 等译校. 电子工业出版社, 1998
- 2 Stuck B, Arthurs E. A Computer Communications Network Performance Analysis Primer. Prentice Hall, 1985