

文章编号: 1001-2486 (2000) 02-0078-04

计算机通信网中的窗口体制分析*

李冬云

(中南工业大学计算机系, 湖南 长沙 410007)

摘要: 给出了计算机通信网中的窗体制描述, 针对数据链路层和网络层运用的窗体制, 分别进行了分析。讨论了不同层次上窗体制运用中的参数, 列出了一种窗体制具体形式的程序流程图。

关键词: 计算机通信网络; 窗口体制

中国分类号: TP 26 **文献标识码:** A

Window Mechanism in Computer Communication Network Technology

LI Dong-yun

(Department of Computer Science, South China University of Technology, Changsha 410007, China)

Abstract: The window mechanism implemented in computer networks is analyzed, and the results are given for Data_Link_layer and network_layer respectively. The selection of parameters in window mechanism is also presented. A specified program flow chart of window mechanism is offered at the end of this paper.

Key words: computer communication network; window mechanism

在计算机通信网络中, 由于传输信道总是存在噪声、干扰等不理想因素, 数据传输不可能避免差错, 因此可靠的信息传输需要某种差错控制机制。一种常用的差错控制方式称为反馈重发或自动请求重发 (Automatic Repeat Request)^[1], 当接收端检测到错误时, 通过反馈信道要求发送端重新发送信息。容易想到的方案是, 发送端发出一信息帧后, 就等待接收端的确认 (Acknowledgment); 如果收到了 ACK, 就继续发送; 若收到 NAK 否认信息或长时间未收到 ACK (称 timeout), 则重发信息帧。该方案称为 Idle Repeat Request 或 Stop-and-Wait。但是, 对通常情况下的全双工通信, 如果传输链路时延很长 (如卫星信道), 该方案的链路传输效率会很低。为提高传输效率, 可在等待回送 ACK 期间, 连续发送信息帧。但是, 如果接收端处理速度比发送端处理速度慢, 接收端就必须准备相当大的缓冲存储区。为克服这个缺点, 实现流量控制, 可以限制发送端一次连续发送信息的帧数。这就是窗的概念。

本文首先对窗体制做一整体的描述, 然后给出窗体制的几种变形, 并分析了窗体制的几个参数。在本文的最后给出典型窗体制的程序流程图。

1 窗体制描述

窗体制的实质是在收到一确认帧之前, 对发送端可发送的帧的数目进行限制。发送窗由重发表和发送帧序号表组成。重发表中存储已发送但未被接收端确认的信息帧号。发送端通过调整重发表中待确认信息帧的数目来实现限制发送, 如果接收端来不及对收到的帧进行处理, 则停发确认 ACK 给发送端。此时发送端的重发表增长, 不再发送信息帧, 直到再次收到 ACK。

发送帧序号表中存放发送端允许连续发送的信息帧序号集, 用发送帧号变量 NS 表示即将发送的帧序号。序号表和重发表就构成了窗总长, 当重发表增长时, 序号表就减缩, 反之亦然。接收端也保持有一个接收帧序号表, 序号表中存放的帧序号是本站允许连续接收的信息帧序号集, 用变量 NR 表示当前期望接收的帧序号。一般称序号表为窗 (发送端成为剩余窗)。让帧序列号以 M 为模, 接收端回传带 NR

* 收稿日期: 1999-08-26

作者简介: 李冬云 (1970-), 女, 硕士生。

的确认帧 ACK, 表示发送端发送的序号直至 NR-1 (包括 NR-1) 的信息帧都已被接收端正确接收, 并且发送端可以重复使用已被确认的信息帧的序号。

2 几种窗的具体应用

下文分几种情况描述窗体制的具体应用。

· Stop_and_Wait

从广义上说, Stop_and_Wait 是窗宽 $W = 1$ 的窗体制。在 Stop_and_Wait 中, 可以仅取 $M = 2$, 即剩余窗和重发表各占 0, 1 序号。

· Continuous RQ, Go_Back_N 策略

接收端回送的控制帧可以有以下三种类型:

RR (Ready to receive): NR 确认接收端已正确接收到直至 (且包括) NR-1 的序号帧。

RNR (Not ready to receive): 这为接收端暂时繁忙而提供了流量控制措施, NR 也确认序号至 (且包括) NR-1 的信息帧。

REJ (Reject): NR 确认了序号至 (且包括) NR-1 的信息帧, 但拒绝接收从 NR 起的所有信息帧。REJ 就是非确认 (NAK) 信号, 它说明序号从 NR 起的信息帧在传输中出了差错。因此, 序号从 NR 起的信息帧都必须全部重新发送。

这种 Go_Back_N 策略的窗体制的优点在于, 它为接收端提供了有序接收的可能, 接收端无需重新为接收的信息帧排序, 从而可以节省缓冲区的空间。

· Continuous RQ, Selective Repeat 策略

接收端回送的控制帧也是 RR、RNR、REJ 三种类型。但 REJ 只拒绝序号为 NR 的信息帧, 发送端只需重发 NR 信息帧以及超时帧。这种策略比 Go_Back_N 的链路传输率要高。但由于是无序接收, 故要求有排序的缓冲区。

· 网络层考虑的窗体制

以上讨论的是链路层的窗体制。窗体制也适用于网络层流量控制。网络层考虑的窗体制, 除涉及源节点和目的节点之外, 还应建立在虚线路 (VC: Virtual Circuit) 的中间节点分析之上。通常采用动态方法, 在每个节点中只为有当前通信业务的源/宿对设置窗口控制机构, 每一源/宿对实际上就是一条 VC, 窗口控制机制应随每一条 VC 的建立而建立, 这同为每一条数据链路建立一对窗控制机构是一样的。

3 窗体制参数分析

3.1 数据链路层窗体制参数分析

本文只分析 Continuous RQ 中的 Go_Back_N 策略。假设策略中所使用的窗体制的序号模为 M , 发送端采用 REJ 控制窗作为 NAK, 同时采用超时重发机制。如果接收端处理时间为 t_s , 单路传输延时为 t_p , 则回路确认时间 $t_{ack} = 2t_p + t_s$, 取超时门限 $t_{out} > t_{ack}$, 如 $t_{out} = 2t_p + 2t_l$, 其中 t_l 为信息帧帧长。为分析方便起见, 假设平均重发时间为 t_r , 则正确传送一帧信息帧平均所需时间 t_v 为:

$$t_v = t_l + (1 - p) \sum_{i=1}^{\infty} p^i i t_r \quad (1)$$

其中 i 表示第 i 次传输出错, p 表示帧传输出错概率。令 $\alpha = t_r / t_l$, 则式 (1) 变为:

$$t_v = \left[\frac{1 + (\alpha - 1)p}{1 - p} \right] t_l \quad (2)$$

则链路最大可能的流量, 即单位时间内传输的帧数

$$\lambda_{max} = 1/t_v = \frac{1 - p}{[1 + (\alpha - 1)p] t_l} \quad (3)$$

若采用窗宽为 W , 并且传输延时 t_p 较大 (t_p 较小时, 采用窗体制就没有什么意义), 令 $\beta = t_p / t_l$, $t_r > (M -$

1) t_t , 这时, 链路利用率为

$$U = \frac{W}{\left[\frac{1 + (\alpha - 1)p}{1 - p} \right] (1 + 2\beta)} = \frac{W}{1 + 2\beta} \frac{1 - p}{1 + (\alpha - 1)p} \quad (4)$$

这里 α 和 β 间有一定的关系, 必须依照具体的差错控制策略给出, 如采用 NAK 做差错否认控制时, $t_t = t_t + 2t_p + t_s$ 。从式(4)中可知, 在长延时 Go_Back_N 策略的窗体制中, 链路利用率所受的影响因素, 并且链路利用率和窗宽是成正比的。

下面讨论 Go_Back_N 策略下窗宽和模 M 的关系。显然, 窗宽应使得接收不发生重帧的现象。考虑一种最坏的情况: 设发送端从 0 号开始连发了 W 帧数据 (W 即为窗宽), 接收端对每一帧都回送了 ACK 确认。但由于线路上的突发干扰致使所有 ACK 确认帧均丢失了。这时, 若 $W = M$, 则超时重发第 0 帧时, 接收端期望接收的也正是第 0 帧信息, 这就导致了重帧。但如果 $W = M - 1$, 重传第 0 帧信息时, 接收端期待接收第 $M - 1$ 帧信息, 就拒绝重发帧, 从而避免了重帧。可见, 必须满足 $M \geq W + 1$, 即 $W_{\max} = M - 1$ 。

再讨论 Selective Repeat 策略下窗宽和模 M 的关系。原则上也是应使得接收不发生重帧。由于 Selective Repeat 策略允许无序接收, 只要发送信息帧的序号落入接收窗口, 就会被接收端接收。考虑最坏的情况: 发送端发送了 W 帧信息帧, 将该 W 帧信息置入重发表中; 接收端对每一帧都回送了 ACK, 但同样由于线路上的突发干扰使这些 ACK 确认帧均丢失了。这时, 接收窗口(期望接收的信息帧序号)前移了 W 个号。可是, 发送端重发表中的 W 个信息帧都必须重发。为了不致重帧, 重发表中和接收窗口中的序号不能有重叠, 即: $W + W \leq M$, 所以, $W_{\max} = \lfloor M/2 \rfloor$ 。

最后讨论缓冲区大小。对 Go_Back_N 策略, 收端缓冲器大小只需等于窗宽, 这是为防止发送速度比接收端处理速度大很多情况下的信息拥塞; 发送端至少应设有为重发表最大长度的缓冲区。对 Selective Repeat, 接收端的缓冲区, 除应防止“速度不匹配”外, 还应为接收信息帧的重新排序留下空间, 该空间又和最大乱序可能以及传输延迟联系在一起。

3.2 网络层窗体制参数分析

网络层窗体制分析是建立在数据链路层分析基础之上。考虑最简单的只建立了连接源节点和宿节点的一条虚线路 VC 的情况。假设 VC 中有 N 个节点(包括宿节点但不包括源节点), 第 i 个节点的传输信息速率为 u_i 。宿接收端正确接收一帧信息就发一个确认 ACK, 并且 ACK 确认帧的传输有着最高的优先级。这样, 我们就提供了一种模型, 该模型可以给出一种“最佳情况”的行为评价。

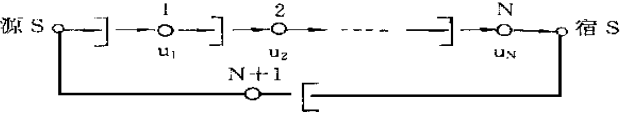


图 1 网络层窗体制的一种模型

Fig. 1 A Model of window Mechanism in Network Layer

图 1 专门画出了反馈信道, 反馈信道上传输确认 ACK 帧或者否认 REJ 帧。由于假设其传输有最高优先级, 我们把反馈信道独立门户是允许的。这样, 就构成了封闭系统模型。

现在讨论在该模型下, 源 S 的窗宽 W 应取什么样值, 假设 u_i 都大致相同, 这样可以使问题简化。我们可以得出, 最佳窗宽 $W = N - 1$ 。因为当源节点发送的第一个信息帧到达宿结点后返回的确认 ACK 到达源节点时, 源节点的窗口宽度允许的最后一个信息帧, 正好刚发出。直观地看, 就是在图 1 中总保持有 N 个帧(其中有 $W = N - 1$ 个信息帧, 1 个控制帧)流动在 VC 的 N 个节点之中。

以上的结论所提供的原则适合于一般网络层窗体制的窗宽设计, 我们可以在每一源节点内设置一张说明窗口宽度和 VC 长短(包括 VC 延时, VC 中各节点传输速率等指标的综合)相互关系的对照表。在建立 VC 时, 参照该表动态地选择合适的窗宽, 以建立起适宜的窗口控制机构。

4 结论

本文对计算机通信网中数据链路层和网络层运用的窗体制, 分别进行了描述和分析。分析结果表明, 对于数据链路层, Go_Back_N 策略的窗体制中链路利用率和窗宽是成正比; 对于网络层, 在“最佳模

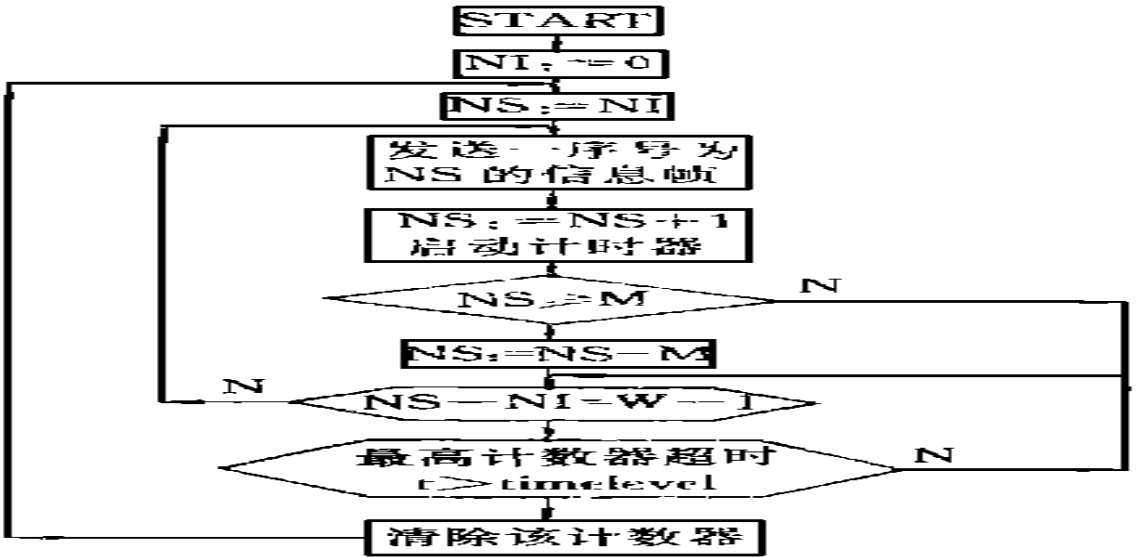
型'条件下,最佳窗宽为虚电路中节点数减一。分析的结果对于窗体制的设计具有一定的实际意义。

参考文献:

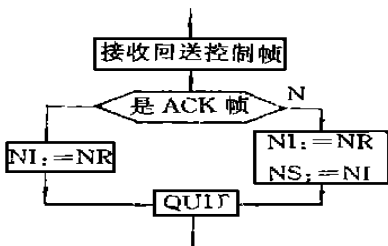
- [1] Tanenbaum A S. Computer Networks(3rd edition), Prentice Hall International Inc., NY. 1996.
- [2] M Schwartz. Telecommunication Networks: protocols [J], Modeling and Analysis, 1987.
- [3] Black U. Emerging Communications technologies (2rd edition), Prentice Hall International Inc., NY. 1996.
- [4] 盛聚, 谢式干, 潘承毅. 概率论与数理统计 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1979.

附录: 程序流程图

在CCITT的X.25建议和ISD的HDLC规程中对窗体制都有所阐述。我们给出一种符合标准的程序流图。程序流图中的参量为: 对发送端, NS为窗口上界, 即下次要发送的帧的序号; NI为窗口下界, 即重发表中的等待重发的第1帧, 显然, 当 $NS - NI = W$ 时, 重发表长度满窗宽, 这时应停止发送; timlevel为超时门限值; W为窗宽; M为序号模值; NR为发送端接收的控制帧(ACK和REJ)携带的序号。对接收端, NS为接收窗的上界, 即期待接收帧序号; PS为发送端送来的帧中携带的序号。计时器应设置 $W - 1$ 个, 发送一帧就对相应的计数器计时。



2. a 发送部分图



2. b 接收控制帧部分

图2 发送端流图

Fig. 2 Flow chort of Transmitting End

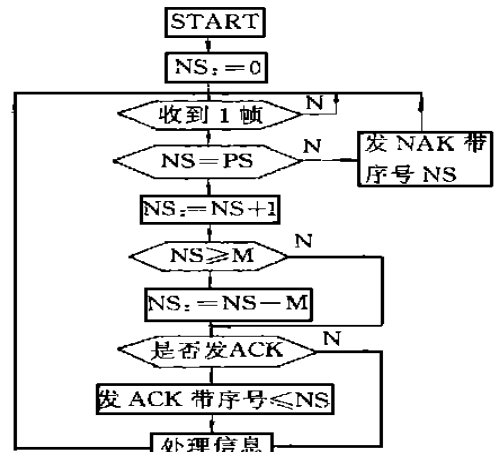


图3 接收端流图

Fig. 3 Flow chort of Transmitting End