

# ATM 网络时延的探讨\*

彭海英, 杨勇

(重庆邮电学院, 重庆 400065)

**摘要:**着重讨论 ATM 网络的传输时延、交换时延、拆包时延以及总的时延特性。并指出选择较短的信元长度对于缩短时延,降低信元丢失率,提高 ATM 的时间透明性有明显成效。

**关键词:**异步传输模式; 时间透明性; 时延; 信元丢失率

**中图分类号:**TN915.2      **文献标识码:**A

## Study of ATM Network Delay

PENG Hai-ying, YANG Yong

(Institute of Telecommunications & Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

**Abstract:** In this article, the author elaborates on the feature of ATM Network Switching Delay which includes transmission delay, switching delay, depacketization delay and general delay, and demonstrates the means to shorten switching delay decrease information loss rate and increase ATM time transparency by selecting comparatively short information unit.

**Key words:** ATM; time transparency; delay; information unit loss rate

## 0 引言

在将来的电信世界中,可视电话、图像库、高速数据等新业务将叠加到现有的语音、TV 分配及低速数据等业务上。这些新业务的到来,可能要求通信网采用新的技术(传递方式),当然这种传递方式不可能专为一种业务设计。传统的电话业务采用电路交换,其时延小,实时性高,但在电路十分昂贵(如卫星电路)的长距离传输过程中,电路交换的效率不高。在分组交换中,由于分组的长度可变,工作的速率并不太高(64 kbit/s),所以低速率造成了时延长,而分组交换采用高度复杂的 X.25 协议,大大提高了网络内的处理要求和交换时延,这使分组交换技

术很难实现实时业务和速率为几十到几百 Mbit/s 的高速业务。ATM 是一种快速分组交换,可提供一种和应用独立的服务,即时间独立性和语义独立性。所谓时间独立性是应用时钟和网络时钟之间没有关联;语义独立性是在结构和协议数据单元之间无关联,所有与应用有关的数据都在信元的信息域内。为了降低 ATM 交换节点内部缓冲器的容量,限制信息在这些缓冲器中的排队时延,ATM 分组的信息段长度相对来说比较小(53 Byte),小的缓冲器保证了实时业务所要求的小时延和小抖动。

## 1 时延的分布参数

在通信系统中,网络系统有 2 个重要特征:

\* 收稿日期:2000-10-09

作者简介:彭海英(1973-),女,四川广安人,助教,主要研究方向为通信网技术;杨勇(1976-),男,云南大理人,助教,主要研究方向为计算机网络技术。

- 时间透明性,即决定网络以最短时间将信息从源经过网络传送到目的地的能力;

- 语义透明性,即决定网络无差错地传递信息的可能性。

网络的时间透明性是指网络没有时延和时延抖动。我们通常用这 2 个参数来描述网络的时间透明性:网络的时延和时延抖动。网络时延是信息在发送端的发送时间  $t_0$  和信息在接收端被接收到的时间  $t_1$  的差,定义为:

$$D_f = t_1 - t_0 \quad (\text{对于第一个信息块})$$

$$D_l = t_3 - t_2 \quad (\text{对于最后一个信息块})$$

其中:  $D_f$  是第一个信元的时延;  $t_2$  是最后一个从发送端发出时间;  $t_3$  是最后一个信元到达终端时间。

总的来说,时延  $D$  对于每一个信元是不同的,它是一个随机变量,最小值为  $D_{\min}$ ,最大值为  $D_{\max}$ 。 $D_{\max}$  和  $D_{\min}$  的差在某些时候称之为抖动。严格地讲,时延抖动指时延在一定时间内的变化。

引起网络的时延的原因是传输时延  $D_t$  (信息从信源传送到信宿引起的) 和处理时延  $D_p$  (由于在接点上的交换处理和复接所引起的),  $D = D_t + D_p$ 。传输时延  $D_t$  由介质的速度和收发端的距离所决定。处理时延  $D_p$  取决于源到目的路径上交换节点的物理实现,同时也取决于信息的处理方式。 $D_p$  的统计特性在很大程度上取决于所采用的传输模式。在宽带网中业务的数据速率都很高,并且 ATM 信元的信息段很小,所以 ATM 网络的时延特性同一般的分组交换网是不同的。时延和时延抖动主要对实时业务(如声音和图像业务)的影响较为敏感,而对计算机数据等业务并不敏感。下面我们着重讨论 ATM 网络的时间透明性。

## 2 ATM 网络的时延特性

### 2.1 ATM 网络的总时延

信元通过 ATM 网络产生的时延由打包时延 (PD: Packtization Delay)、传输时延 (TD: Transmission Delay)、固定交换时延 (FD: Fixed Switching Delay)、排队时延 (QD: Queueing Delay)、拆包时延 (DD: Depackitization Delay)、同步网时延 (SD: STM network Delay) 等组成,每一部分都独立地对

总的时延产生影响。

在一个单纯的 ATM 网络中(图 1),信息在信源端被打包成信元,在信宿又被拆开重新组合成信息,网络的内部各处信息都是以信元的形式存在的。在 ATM 和非 ATM 的组合网络中(图 2),部分网络采用同步网。

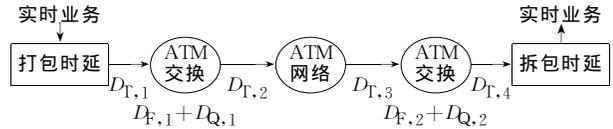


图1 纯ATM网络的时延

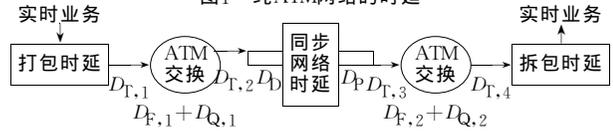


图2 ATM与非ATM网的时延

#### 2.1.1 传输时延(TD: Transmission Delay)

传输时延是一个不依赖于传输模式的时延,与信息的发送与接收端之间的距离有关,与使用的传输媒体有关。

#### 2.1.2 交换时延(SD: Switching Delay)

ATM 交换中,交换时延是由固定部分和可变部分组成。固定部分称为固定交换时延,可变部分称为排队时延,它与网络内部的队列的长度有关。

固定交换时延与实现的方案有关,是 ATM 信元通过 ATM 交换的硬件所产生,是在网络内只有单个信元通过时所产生的(即信元在网络内部不需要排队等待服务)。因 ATM 网络是由高速硬件完成的,所以这部分时延通常可保持很小的值。

排队时延(QD)在 ATM 中要进行统计复接和交换,为了防止大量的分组丢失,网络内部须有队列。这个队列必然引入了排队时延。排队时延随着网络的负载变化而变化,并且与队列的状态有关。

#### 2.1.3 拆包时延(DD: Depacketization Delay)

实时业务要求在终端或同步网的边界处引入一个附加的时延,这个时延用于平滑时延的统计特性,才能重建其比特流。排队时延概率分布函数见图 3,从图 3 中可以看出,排队时延在一定范围内变化,也就是说时延的抖动是很大的。图 3 中,  $e$  曲线是经过缓冲器后的时延分布特性,可以看出其分布函数是非常尖锐的,并且其变化分布范围很小,这使时延抖动减小到最小。

在接收端平滑时延的统计特性通常用一个缓冲器来完成,即在接收端设置一个较大的存储器,虽然到达接收端的信元时延不同,但可以让它们在缓冲器中等待一定的时间再送出去,时延小的信元等待的时间长一些,时延大的信元等待的时间短一些,这样从缓冲器中读出时,它们在网络内的时延几乎一样。在设计缓冲器的大小时应该考虑系统所允许的信元丢失率。由于信息在发送端被截成了一个一个的信元,在接收端应该重新组成完整的信息,如果其中某个信元在网络内的时间太长,那么在接收端就只能认为该信元已经丢失,而不能正常地恢复原始信息。

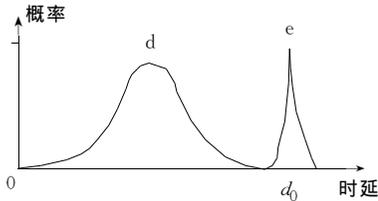


图3 时延的概率分布函数

在拆包的过程中,接收端不可能等到所有的信元都到达后才拆包,而只能等待一定时间,否则系统的时延将明显加大,同时在 ATM 中信元很可能在网络内部丢失而不能到达接收端,因此,要等到所有信元都到达接收端是不可能的。

拆包时延在某种程度上可看成是网络在终端的调节功能,用以去掉网络引入的时延抖动。在纯 ATM 网络的终端或混合 ATM 网的边界处都需要。

### 2.2 系统总的时延计算

对于纯的 ATM 网络和 ATM 与同步共存的网络的总时延是所有参数的时延组合,即将每一参数的最坏值加起来:

$$D_1 = \sum_i D_{T,i} + \sum_j D_{F,j} + \max q \int D_{Q,j} + D_P \quad (1)$$

$$D_2 = \sum_i D_{T,i} + \sum_j D_{F,j} + \sum_k \max q \int D_{Q,k} + K \times D_P + \sum_m D_{S,m} \quad (2)$$

式(1),式(2)中, $D_1$ 是纯 ATM 网络的时延; $D_2$ 是混合网络的时延; $i$ 是指链路的数目; $j$ 是指 ATM 交换机的数目; $k$ 是指在 ATM 与同步网的边界处

成对的打包/拆包数目; $m$ 是同步交换机数目。在计算系统总的时延时,排队时延并不是简单的算术和,而是根据概率密度函数的统计卷积,所以用积分来表示。最大值符号  $\max$  是指拆包时延要求保证所有信元有最大的时延。从上面的公式可看到没有拆包时延,这是因为它已经包括在排队时延之中了。

### 3 一个计算时延的实例

假设传输距离为 1000 km,传输时延为 4000 ms,假设系统内有 2 个同步交换机,每一个时延为 450 ms。考虑到 ATM 的特点,假设有 3 种信元信息段长度(16, 32, 64 字节),有 8 个 ATM 交换机,并假定有 155.520 Mbit/s, 622.080 Mbit/s 两种工作时钟,网络的负载率为 80%,信元的丢失率为  $10^{-10}$ 。它们的时延特性见表 1。

表 1 不同速率和不同分组的时延

速率	155.520 Mbit/s			622.080 Mbit/s		
	16	32	64	16	32	64
信元大小	16	32	64	16	32	64
TD	4000	4000	4000	4000	4000	4000
FD	64	128	256	16	32	64
QD/DD	200	400	400	50	100	200
PD	2000	4000	8000	2000	4000	8000
SD	900	900	900	900	900	900
D <sub>1</sub>	6264	8528	13056	6066	8132	12264
D <sub>2</sub>	9164	13428	21956	8966	13032	21164

从表 1 中可以看出,传输时延与系统工作时钟无关,与信元大小无关,只与传输的介质有关;对于交换的固定时延 FD,通常值很小,对于受时延影响最大的是打包时延 PD,同信元长度有密切关系。从表 1 中可以看到,当信元长度为 64 个字节时,其时延已经靠近 CCITT 关于电话时延所规定的门限,这还只是在假设有 2 个同步交换机和只有几个 ATM 交换机的情况下的结果,所以在实际应用中很容易超过这个界限,这也是 CCITT 选择小于 64 个字节信元长度的原因之一。

表 2 中给出了几种宽带业务的时延要求。从表 1,表 2 中可以看出,选择较短的信元对于提高 ATM 的时间透明性是有效的。同一传输速率,较短的信元总的时延也较短;对同一信元长度,传输速率越高,其总的时延也较小。数据业务对分布计算要求为 50 ms,因为分布计算要求的时延很短。

表2 几种宽带业务的时延要求 (ms)

业务	声音	数据传输	电视广播	Hi-Fi声音	远端过程控制
时延	25/50	1000 (50)	1000	1000	1000

ATM的信元长度为53个字节,即由5个字节的报头和48个字节的信息段组成。在数字信息流中信元不占用固定的位置。每个报文中的信元由一个虚通道(VCI)来传送,虚通道的标识写入信元的信息头中。具有相同源和目的报文会聚成一个业务流,传送这些报文的虚通道会聚成虚路径(VPI),在每个虚路径中的几个不同的虚通道可进行不同的通信业务。这样方便了连接和管理,加快了呼叫建立的速度,从而降低了时延,比较适合实时业务。

## 4 几种时延的比较

(1) 电路交换的时延基本上决定于传输链路上的传播时延和交换机的处理时延。CCITT规定数字窄带交换机的平均处理时延应该小于 $450 \mu\text{s}$ 。从理论上讲,处理时延对同一连接中的所有信息都是一个固定值,这个值取决于时间/空间交换器的实现。这个时延可能会有很小的抖动,引起抖动的原因是传输链路的时间滑动和飘移。一旦电路交换的时隙宽度被确定,相对比特率也就固定,这不适合宽带业务有不同比特率的要求。但因其实时性好,所以适合实时性业务。

(2) 分组交换网中,用户信息被封装在分组之中。分组的长度是可变的,因此网络内需要一个相当复杂的缓冲器管理。由于工作速率不高(典型值为 $64 \text{ kbit/s}$ ),低速率造成了时延过长。又因为采用高度复杂的X.25协议,增大了网络内的处理时延和交换时延。所以这种分组交换技术很难用于实时业务(由于重传时延大)和速率为几十至几百 $\text{Mbit/s}$ 的高速业务(处理要求太高),但对于低速数据传递、分组交换十分有效。

(3) 帧中继对链路没有逐段的流控和差错控制能力,但因为传输及交换设施的可靠性高,并减少了用户与网络之间接口的协议功能以及网络内部处理需求,从而降低了时延,提高了吞吐率。适合高速H通道上数据块的交互应用、文件传输、低速率的复用

及字符交互通信。

(4) ATM采用固定信元长度为53字节,比分组交换的分组长度小,这降低了交换节点内部的缓冲容量,减少信息在缓冲区内排队的时延和时延抖动。由于ATM采用固定信元长度,动态分配资源以及不使用逐段反馈重发方法,使得ATM可以提供分组交换数据业务的同时,还满足需要提供固定比特率和固定时延的电信业务的要求,也是将来宽带ISDN的理想方式。

## 5 ATM网络应用

尽管还会有更多类型的新业务出现,但现今电信网一般有语音与图像、交互作用的数据、计算机间的成批数据等3类业务。语音与图像(可视性数据)是第一类传统实时业务的代表,语音业务可以容忍一定的劣化(干扰,剪切,压缩等)与阻塞,但不能容忍时延。一般视频信号对实时性要求很高,但允许有一定的差错率,经过高度压缩的图像,既要求时延短,又要求差错与脱落少。第二类业务是“交互作用的数据”,如可视图文,就较能容忍时延,但阻塞容限不高,不能容忍劣化。第三类业务是计算机之间的成批数据,通常没有实时性要求,对时延容限很高,但对信息差错要求极严,不能容忍阻塞。

若用电路交换来处理上述宽带信息业务传输,整个呼叫过程中交换机与网络资源的占用均是固定的,当传送低速信息时,时隙的周期长,反之,时隙的周期短。电路交换采用STM方式,为用户分配固定的信道带宽,信道速率也固定;对于视频信号的传输,电路交换必须按峰值比特率来设计,显然未能充分利用信道的潜力。

分组交换模式适合传送突发性强的信息流,它能按用户要求动态分配资源,它以数据通信为对象,对差错要求严格;又因采用软件处理重发,纠错控制等复杂协议,传输时延大不适合对实时要求很高,但允许有一定差错率等宽带业务的传输。

ATM交换网络既能提供固定的短时延电路交换特性,又具有动态分配资源的分组交换特性。它能把电话网,数据网等各种网络综合,采用统一的交换和传输技术。宽带综合网,可给用户提

(上接 84 页)多速率的接入,是以光纤通路和简化协议为基础的新型分组交换。它具有如下特点:(1)能够提供高于 2 Mbit/s 速率的传输通道;(2)能够适应全部现有的和将来可能的业务,从速率的最低的遥控遥测(几 bit/s)到高清晰度电视 HDTV(100~150 Mbit/s)都以同样的方式在网络中传送和交换,共享网络资源。所以 ATM 的核心技术能在远距离之间传输数据、语音和视频信息,提供的接口能支持 1 Mbit/s~1 Gbit/s 的用户速率,而且传输时延比较小,比较适合传输视频及音频等实时同步信息。由于 ATM 的信息传输、复用和交换以一定的信元为统一的信息单位,从低速率的遥感遥测信号到高速率、突发性的活动图像信息,全部转换成固定长度的信元,并且按信息需要分配占用信元数量,从而 ATM 适应从音频到视频的各类业务。ATM 交换网络能有效地传输音频信号,并适合视频信号以及数据信号;能适合宽带与窄带的各种业务要求。

由此可以看出 ATM 的时间透明性是描述 ATM 性能的重要参数,它关系到现有的电话业务能否在 ATM 中传送而不用回波消除电路,同时关系到 ATM 网与现有的同步电话网在互联后是否还

能保证有很小的时延,此外还与采用 ATM 技术传输大量实时语音和视频信息的多媒体会议系统等的实时业务有关,所以 ATM 网的时间透明性是 ATM 的非常重要的指标。另外,为了适应时延敏感业务,如在基于 ATM 的局域网(LAN)、市域网(MAN)中提供的快速网络传送的某些业务;又如在工业环境中,对时间要求严格的警报及实时控制信息方面都具有重要的意义。

#### 参 考 文 献

- [1] 雷振明. 下一代的电信交换——宽带交换 [M]. 北京:人民邮电出版社,1993.
- [2] 程时端. 综合业务数字网 [M]. 北京:人民邮电出版社,1993.
- [3] 马丁. 德. 普瑞克. 异步传递方式—宽带 ISDN 技术 [M]. 北京:人民邮电出版社,1996.
- [4] 钟玉琢, 陈涵, 智西湖. 视频拨号音技术 [M]. 北京:电子工业出版社,1998.