

无比特丢弃的 AAL2 分组话音系统最优分组长度的研究¹

魏立军 刘增基

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室 西安 710071)

摘 要 该文根据分组话音业务的特点, 结合分组话音业务服务质量要求, 特别是分组丢弃概率和端到端分组传送时延的要求, 研究 AAL2 分组话音系统中 AAL2 分组最优长度的确定方法。得出结论: 对于无比特丢弃的 AAL2 分组话音系统, 当话音采用 32kb/s 的编码时, AAL2 分组的最优长度大约为 31 个字节; 当话音采用 16kb/s 的编码时, AAL2 分组的最优长度大约为 27 个字节。此时 AAL2 分组的分组头开销小, 话音分组的丢弃概率和端到端分组传送时延低, 所得的分组话音质量高。

关键词 ATM, AAL2, 分组话音, 服务质量

中图分类号 TN913.24

1 引言

分组网络的高速发展, 使人们对用一个综合业务网同时承载数据、话音和多媒体业务的兴趣日益浓厚。低速话音编码压缩算法以及静音检测和消除技术的应用, 大大节约了话音传输所需的带宽, 并给人们一种启示, 利用分组网络有效承载压缩话音业务以取代传统的电话网。与传统的电话网相比, 在相同的输出链路速率下, 分组网络可以接入更多的话音呼叫; 除了话音业务外, 分组网络还能承载数据、视频等其它业务, 为用户终端提供更多的业务支持。在分组网络技术中, ATM 能比较理想地承载分组话音业务。在 ATM 中, 主要采用 AAL1 和 AAL2 来承载话音业务。与 AAL1 相比, AAL2 既可以承载恒定比特率话音业务, 也可以承载可变比特率话音业务; 通过对其所承载的数字话音进行适当的压缩, 对话音呼叫进行静音检测和消除, 可获得低的分组时延和高的带宽利用率; 并可用一条 ATM 连接支持多个用户信道。AAL2 代表着用 ATM 承载分组话音业务的发展方向。

本文用 UAS 模型和 M/D/1/K 模型研究无比特丢弃的 AAL2 分组话音系统的分组丢弃概率和分组传送时延。并根据分组话音业务的特点和服务质量要求, 特别是分组丢弃概率和端到端分组传送时延的要求, 研究 AAL2 分组话音系统中 AAL2 分组最优长度的确定方法。得出结论: 对于无比特丢弃的 AAL2 分组话音系统, 当话音采用 32kb/s 的编码时, AAL2 分组的最优长度大约为 31 个字节; 当话音采用 16kb/s 的编码时, AAL2 分组的最优长度大约为 27 个字节。此时话音的服务质量高, 分组头的开销小。

2 AAL2 分组话音复接器原理

AAL2 用于在 ATM VC 上有效传输话音、传真和话带数据^[1-4]。用 AAL2 承载话音业务时, 各路话音数据被分成一定长度的分组, 形成 AAL2 分组的话音信息域, 而后加一个 3 字节的 AAL2 分组头, 形成 AAL2 分组。在对话音进行分组的过程中, 应采用一适当的分组占用时长 T , 使得 AAL2 头相对于 AAL2 分组的话音信息而言开销较小; 同时, 又应使此分组占用时长仅为端到端时延的一小部分, 以减少时延。对于一个典型的话音源而言, 平均 1s 内, 话音源处于突发期的平均时间为 0.4s, 处于静默期的平均时间为 0.6s, 则话音源处于突发期的概率为 0.4。在本文中, 均按以上假设进行分析。

¹ 2000-09-01 收到, 2001-04-22 定稿

图1中示出了无比特丢弃的AAL2分组语音复接器的原理框图。图1中,各路语音数据形成AAL2分组后,放入AAL2语音分组缓冲器队列中进行排队,而后将语音分组填入ATM信元载荷域中,形成ATM信元,通过ATM VC传送。

假设ATM VC的输出速率为 C_L , AAL2语音分组缓冲器队列的输出速率为 C 。 C_L 和 C 的单位为bit/s。对于AAL2分组语音系统而言,需要确定AAL2分组的最优长度为多少才可以最大限度地减小额外开销,同时减小分组丢弃概率和端到端分组传送时延,以便获得较高质量的话音。下文分析应如何确定AAL2分组的最优长度。

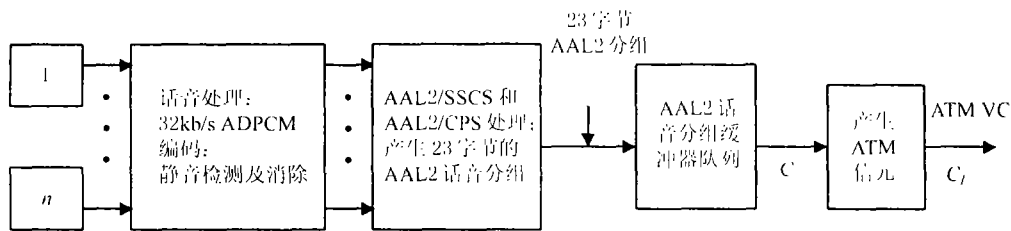


图1 无比特丢弃的 AAL2 分组语音复接器

3 AAL2 分组最优长度的确定标准

对于分组语音而言,确定语音分组的最优长度时,需要一个合理的确定标准。本文确定AAL2分组最优长度的标准是:在尽可能好地满足分组语音服务质量要求的前提下,尽量减小分组头的开销。此处,分组语音服务质量要求主要包括端到端分组丢弃概率和端到端分组传送时延。端到端分组丢弃概率和分组传送时延指的是从AAL2语音分组在源端点开始形成时开始到AAL2语音分组到达目的端点时为止,AAL2分组的丢弃概率和所经历的传送时延。

一般而言,影响端到端分组丢弃概率的因素主要有两个:在发送端,AAL2分组在AAL2分组语音复接器中进行复接时由于缓冲器队列满而产生的分组丢弃;ATM网络拥塞时,承载AAL2分组的ATM信元被丢弃而造成的分组丢弃。

影响端到端分组传送时延的因素主要有:AAL2分组在发送端进行处理的时延 W (包括:在源端点形成AAL2语音分组时的分组占用时长(T),AAL2语音分组在AAL2分组语音复接器中的排队时延(W_q)以及AAL2语音分组在AAL2分组语音复接器中的服务时间(W_s));ATM信元经过ATM网络的时延 W_n (包括ATM信元在网络中间结点的排队和处理时延以及ATM信元在网络中的传送时延)。

确定AAL2分组最优长度时,应尽量减小端到端分组丢弃概率和分组传送时延。一般而言,承载AAL2分组的ATM信元经过ATM网络时所造成的分组丢弃和时延主要由网络的状态和网管策略决定,因此,本文在确定AAL2分组的最优长度时,主要考虑AAL2语音分组在发送端所产生的分组丢弃和语音分组在发送端进行处理的时延。即AAL2分组最优长度的确定标准是:使语音分组在发送端进行处理时所产生的分组丢弃概率、分组处理时延和语音分组头开销最小的语音分组长度就是最优的AAL2分组长度。

由于AAL2分组在发送端进行处理时,AAL2分组处理时延为随机变量,因此需要确定分组处理时延的一个函数,用此函数作为衡量处理时延的标准。本文将处理时延的平均值作为衡量分组处理时延的标准。文献[5]证实了此种做法的有效性。

下文研究当语音编码速率为32kb/s和16kb/s时,AAL2分组的最优长度。

4 AAL2 分组语音复接器模型及性能分析

本节研究 AAL2 分组语音复接器的分组丢弃概率和平均分组处理时延。文献 [6] 用 UAS (uniform arrival and service) 模型准确计算出分组语音复接器的分组丢弃概率 [6]。本文在计算 AAL2 分组语音复接器的分组丢弃概率时, 采用文献 [6] 中的方法。此外, 对话音源进行静音检测和消除后, n 个话音源复接的分组到达模型, 当 n 足够大时, 可以近似为泊松流。对于无比特丢弃的 AAL2 分组语音复接器, 每个 AAL2 语音分组的长度固定, 则对每个 AAL2 分组的处理时间相同。因此, 可用 M/D/1/K 模型来近似求出 AAL2 分组语音复接器的平均分组处理时延。

UAS 模型的基本原理如文献 [6] 中所述。在用 UAS 模型研究 AAL2 分组语音复接器的分组丢弃概率时, 为了便于研究, 定义以下参数: n 为接入 AAL2 分组语音复接器中的话音源个数; c 为将 C 等效为能同时处理的按峰值信息速率发送语音分组的话音源个数; λ 为话音源从静默期到突发期的转移率; μ 为话音源从突发期到静默期的转移率; B 为突发期平均长度, 本文取 $B = 0.4s$; S 为静默期平均长度, 本文取 $S = 0.6s$; p 为话音源处于突发期的概率, 本文取 $p = 0.4$; T 为 AAL2 语音分组的分组占用时长, 单位为 s ; Rate 为话音源的编码速率, 单位为 bit/s ; L 为 AAL2 语音分组的长度, 单位为字节, 分组头为 3 个字节; η 为 AAL2 语音分组中话音信息域在语音分组中所占比例; R_p 为单个话音源的峰值信息发送速率, 单位为 bit/s ; m 为 AAL2 语音分组缓冲器队列的最大容量。由于 53 字节的 ATM 信元中, 只有 47 个字节用于承载 AAL2 语音分组, 则由上文定义的参数可得

$$C = (47/53) \times C_L \quad (1)$$

$$B = 1/\mu \quad (2)$$

$$S = 1/\lambda \quad (3)$$

$$L = \text{Rate} \times T/8 + 3 \quad (4)$$

$$\eta = \text{Rete} \times T/(\text{Rate} \times T + 3 \times 8) \quad (5)$$

$$R_p = (\text{Rete} \times T + 3 \times 8)/T \quad (6)$$

$$c = C/R_p \quad (7)$$

对于传统语音而言, 单向端到端分组传送时延可为 100ms 到 150ms。因此, 对于分组语音复接器而言, 语音分组的处理时延可允许为 20ms。若扣除对话音分组的处理开销, 则语音分组在语音分组缓冲器队列中的排队时延可近似认为不超过 15ms 即可 [1,2]。由此可得 AAL2 语音分组缓冲器的容量 m 的计算公式为

$$m = 0.015 \times c \quad (8)$$

对于实际的 AAL2 分组语音复接器, 一般用分组作为语音分组缓冲器队列容量的单位。令 K 为 AAL2 语音分组缓冲器队列的容量, 单位为分组, 则可得 AAL2 语音分组缓冲器队列容量的分组表达式为

$$K = \left\lceil \frac{C \times 15 \times 10^{-3}}{L \times 8} \right\rceil \quad (9)$$

式中 $\lceil x \rceil$ 值为不小于 x 的最小整数。在此条件下, 语音分组在语音分组缓冲器队列中的排队时延不超过 15ms 这一服务质量指标得到满足。进行计算机仿真时, 缓冲器最大容量按 (9) 式确定。

当话音源编码速率、AAL2 语音分组的分组占用时长、接入 AAL2 分组语音复接器中的话音源个数以及 ATM VC 的输出速率确定时, 将上述公式代入文献 [6] 中, 按文献 [6] 中的推导方法即可求出分组丢弃概率。AAL2 分组语音复接器的分组丢弃概率如文献 [6] 中 (12) 式所示。

下文用 M/D/1/K 模型计算平均分组处理时延。其中 K 为 AAL2 分组语音复接器缓冲器队列的容量, 按 (9) 式确定。当 AAL2 语音分组缓冲器队列中已有 $K-1$ 个 AAL2 语音分组时, 新到达的话音分组将被丢弃。为了便于分析, 定义以下参数: τ 为一个 AAL2 语音分组的服务时间; λ_e 为进入 AAL2 分组语音复接器的 AAL2 语音分组的到达率, 单位为分组/秒; ρ 为 ATM VC 的带宽利用率, $\rho = \lambda_e \times \tau$; L_j 为在第 j 个分组服务完时系统中的分组数; π_i 为系统达到稳定状态时, $L_j = i$ 的概率, 其中, $0 \leq i \leq K-1$; π 为 $\{\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_{K-2}, \pi_{K-1}\}$, 是系统达到稳定状态后, 队列长度概率向量; EQ 为 AAL2 语音分组缓冲器队列中的平均队列长度 (按分组个数计算); EW 为平均分组排队时延; W 为 AAL2 语音分组在发送端的平均处理时延。

由上文定义的参数可得

$$\lambda_e = n \times p/T \quad (10)$$

$$\tau = L \times 8/C = (\text{Rate} \times T + 3 \times 8)/C \quad (11)$$

令序列 $\{a_i, i > 0\}$ 代表在分组服务时间 τ 内, 到达 i 个分组的概率。则可得

$$a_i = e^{-\lambda_e \tau} (\lambda_e \tau)^i / i! = e^{-\rho} \times \rho^i / i! \quad (12)$$

由此, 可得马尔可夫状态转移概率矩阵 P 如 (13) 式所示。

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & \cdots & K-2 & K-1 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ \vdots \\ K-2 \\ K-1 \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & \cdots & & 1-\Sigma \\ a_0 & a_1 & a_2 & \cdots & & 1-\Sigma \\ 0 & a_0 & a_1 & \cdots & & 1-\Sigma \\ \vdots & & & & & \\ & & & & a_0 & a_1 & 1-\Sigma \\ & & & & & a_0 & 1-a_0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (13)$$

在 (13) 式中, Σ 代表一行中, 其它元素之和。当系统达到稳定状态时, 可得

$$\pi p = \pi \quad (14)$$

AAL2 语音分组缓冲器队列中平均队列长度和平均分组排队时延分别为

$$\text{EQ} = \sum_{i=1}^{K-1} i \pi_i \quad (15)$$

$$\text{EW} = \text{EQ} / [\lambda_e (1 - P_L)] \quad (16)$$

$$W = \text{EW} + T + \tau \quad (17)$$

当话音源编码速率、AAL2 语音分组的分组占用时长、接入 AAL2 分组语音复接器中的话音源个数以及 ATM VC 的输出速率确定时, 即可由 (17) 式解出 W 。由于将多个话音源的分组到达模型近似为泊松流时, 存在一定误差。因此, (17) 式计算出的分组处理时延是近似值。

5 AAL2 话音分组最优长度

当 ATM VC 的输出速率以及话音源编码速率一定时, 系统设计者可以通过调节分组占用时长和接入 AAL2 分组话音复接器中的话音源个数来改变在发送端的分组丢弃概率和平均分组处理时延。

AAL2 话音分组载荷域的最大长度为 64 个字节。因此, 如果话音采用 32kb/s 编码, 选择分组占用时长 T 时, T 最大可为 16ms; 而当话音采用 16kb/s 的编码时, 分组占用时长最大可为 32ms。令 ATM VC 的输出速率为 384kb/s, 当接入 AAL2 分组话音复接器中的话音源个数确定时, 即可由上文所述的公式计算出 AAL2 话音分组在发送端的分组丢弃概率和平均分组处理时延。

话音编码速率为 32kb/s 时, 话音分组长度 L 和话音信息域所占比例 η 随分组占用时长 T 的变化关系如表 1 所示。话音编码速率为 16kb/s 时, 话音分组长度 L 和话音信息域所占比例 η 随分组占用时长 T 的变化关系如表 2 所示。

表 1 话音源编码速率为 32kb/s 时话音信息域所占比例

$T(\text{ms})$	1	2	3	4	5	6	7	8
$L(\text{分组})$	7	11	15	19	23	27	31	35
η	0.5714	0.7273	0.8000	0.8421	0.8696	0.8889	0.9032	0.9143
$T(\text{ms})$	9	10	11	12	13	14	15	16
$L(\text{分组})$	39	43	47	51	55	59	63	67
η	0.9231	0.9302	0.9362	0.9412	0.9455	0.9492	0.9524	0.9552

表 2 话音源编码速率为 16kb/s 时话音信息域所占比例

$T(\text{ms})$	1	2	3	4	5	6	7	8
$L(\text{分组})$	5	7	9	11	13	15	17	19
η	0.4000	0.5714	0.6667	0.7273	0.7692	0.8000	0.8235	0.8421
$T(\text{ms})$	9	10	11	12	13	14	15	16
$L(\text{分组})$	21	23	25	27	29	31	33	35
η	0.8571	0.8696	0.8800	0.8889	0.8966	0.9032	0.9091	0.9143
$T(\text{ms})$	17	18	19	20	21	22	23	24
$L(\text{分组})$	37	39	41	43	45	47	49	51
η	0.9189	0.9231	0.9268	0.9302	0.9333	0.9362	0.9388	0.9412
$T(\text{ms})$	25	26	27	28	29	30	31	32
$L(\text{分组})$	53	55	57	59	61	63	65	67
η	0.9434	0.9455	0.9474	0.9492	0.9508	0.9524	0.9538	0.9552

令 ATM VC 的输出速率为 384kb/s, 当话音源编码速率为 32kb/s 时, 取接入 AAL2 分组话音复接器中的话音源个数分别为 23 和 25。按文献 [6] 中 (12) 式和本文 (17) 式计算出的在发送端的分组丢弃概率和平均分组处理时延随话音分组长度的变化关系如图 2 所示。本文选取话音源数分别为 23 和 25, 此时, AAL2 分组话音复接器的利用率高, 容易看出分组丢弃概率和平均分组处理时延的变化情况。图 2 中 * 为话音源数 $n = 23$ 时的计算结果, • 为话音源数 $n = 25$ 时的计算结果。

当 ATM VC 输出速率为 384kb/s, 话音源编码速率为 16kb/s 时, 取接入 AAL2 分组话音复接器中的话音源个数分别为 45 和 48, 此时计算出的在发送端的分组丢弃概率和平均分组处理时延随话音分组长度的变化关系如图 3 所示。图 3 中 * 为话音源数 $n = 45$ 时的结果, • 为话音源数 $n = 48$ 时的结果。

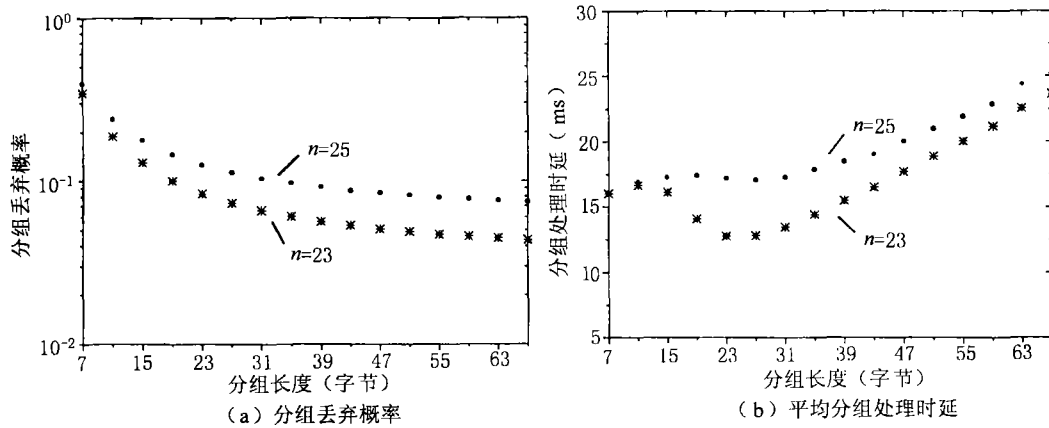


图2 编码速率为 32kb/s 的计算结果

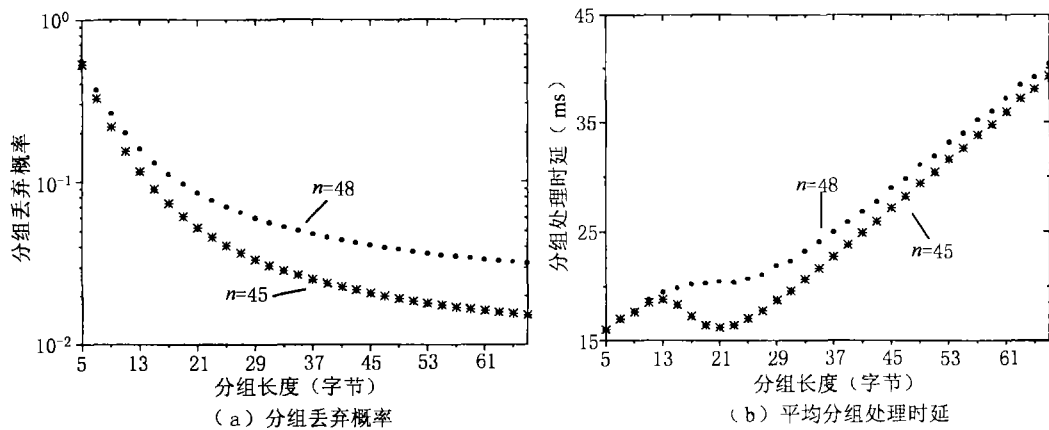


图3 编码速率为 16kb/s 时的计算结果

从图 2 和 3 可以看出, 当 ATM VC 的输出速率一定时, 随着话音源个数的增加, 分组丢弃概率和平均分组处理时延增大。当话音源编码速率和接入 AAL2 分组话音复接器中的话音源个数不同时, 使分组丢弃概率和平均分组处理时延取得最小值时所对应的分组长度不同。因此, 对某条给定的 ATM VC 以及确定的接入 AAL2 分组话音复接器中的话音源数而言, 使分组丢弃概率和平均分组处理时延取得最小值的分组长度, 当 ATM VC 值和话音源个数改变时, 不一定能再次获得最小的分组丢弃概率和平均分组处理时延。考虑到以上特点, 确定 AAL2 分组最优长度时, 只能选择 AAL2 话音分组长度的一个折中值, 使得对于不同的 ATM VC 和接入 AAL2 分组话音复接器的话音源个数, 此分组长度所对应的分组丢弃概率和平均分组处理时延都很小。

此外, 从图 2 和 3 中可以看出, 当接入 AAL2 分组话音复接器的话音源个数一定时, 分组丢弃概率随着话音分组长度的增大而逐渐减小。从分组丢弃概率的角度来说, 分组越长越好。但平均分组处理时延随着话音分组长度的增大先减小, 取得最小值后, 随着话音分组长度的增加, 平均分组处理时延显著增加。例如, 图 2 中, 当话音分组长度为 23 个字节时, 此时的平均分组处理时延远低于话音分组长度为 67 个字节时的平均分组处理时延, 平均分组处理时延值要小 10ms 以上。而当话音分组时延很大时, 话音质量将显著下降。由此可见, 尽管当话音分组

长度取较大值时, 分组丢弃概率小, 语音分组头相对于语音分组信息域的开销也会减小, 但这是以降低分组语音服务质量为代价的。为了确保分组语音服务质量要求得到满足, AAL2 语音分组长度不宜取较大值。因此, 要在分组丢弃概率和平均分组处理时延间取一个折中值。

对于 32kb/s 的语音编码, 从图 2(a) 中可以看出, 当语音分组长度大于 23 个字节时, 语音分组丢弃概率的减小幅度减小, 语音分组丢弃概率曲线趋于平缓, 靠增加分组长度来减小分组丢弃概率所取得的效果不大。而此时的平均分组处理时延接近最小值。而当语音分组为 31 个字节长时, 此时的平均分组处理时延接近最小值, 语音分组信息域所占比例为 0.9032, 语音分组头开销小。因此, 可将 31 字节作为语音编码为 32kb/s 时的最优分组长度。分组长度在 31 字节周围变化时, 语音分组性能变化不大。也可将 31 字节左右的语音分组长度作为最优分组长度, 依实现难易来进行选择。

而对于 16kb/s 的语音编码, 从图 3(a) 中可以看出, 当语音分组长度大于 25 个字节时, 语音分组丢弃概率的减小幅度减小, 语音分组丢弃概率曲线趋于平缓, 靠增加分组长度来减小分组丢弃概率所取得的效果不大。而此时的平均分组处理时延接近最小值。而当语音分组长度为 27 个字节时, 平均分组处理时延接近最小值。此时语音分组信息域所占比例为 0.8889, 语音分组头开销小。因此, 可将 27 字节作为语音编码为 16kb/s 时的最优分组长度。分组长度在 27 字节周围变化时, 语音分组性能变化不大。也可将 27 字节左右的语音分组长度作为最优分组长度, 依实现难易来进行选择。

6 结束语

无比特丢弃的 AAL2 分组语音复接器的分组丢弃概率可用 UAS 模型来准确求出, 分组处理时延可用 M/D/1/K 模型来近似求出。本文在 UAS 模型和 M/D/1/K 模型的基础上, 针对 32kb/s 和 16kb/s 的语音编码, 结合分组语音业务服务质量要求, 特别是在接收端处的分组丢弃概率和平均分组处理时延的要求, 研究 AAL2 语音分组最优长度的确定方法。得出结论: 对于无比特丢弃的 AAL2 分组语音复接器, 当语音采用 32kb/s 的压缩编码时, AAL2 语音分组的最优长度大约为 31 个字节; 而当语音采用 16kb/s 的压缩编码时, AAL2 语音分组的最优长度大约为 27 个字节。此时 AAL2 语音分组的分组头开销小, 所得的分组语音质量高。

参 考 文 献

- [1] K. Sriram, T. G. Lyons, Y. T. Wang, Anomalies due to delay and loss in AAL2 packet voice systems, Performance models and methods of mitigation, IEEE J. on SAC., 1999, 17(1), 4-17.
- [2] K. Sriram, Y. T. Wang, Voice over ATM using AAL2 and bit dropping, Performance and call admission control, IEEE J. on SAC., 1999, 17(1), 18-28.
- [3] K. Sriram, D. M. Lucantoni, Traffic smoothing effects of bit dropping in a packet voice multiplexer, IEEE Trans. on Commun. 1989, COM-37(7), 703-712.
- [4] K. Sriram, W. Whitt, Characterizing superposition arrival processes in packet multiplexer for voice and data, IEEE J. on SAC., 1986, SAC-4(6), 833-846.
- [5] D. Minoli, Optimal packet length for packet voice communication, IEEE Trans. on Commun., 1979, COM-27(3), 607-611.
- [6] C. F. Roger Tucker, Accurate method for analysis of a packet-speech multiplexer with limited delay, IEEE Trans. on Commun., 1988, COM-36(4), 479-483.

OPTIMAL PACKET LENGTH FOR AAL2 PACKET VOICE SYSTEM WITHOUT BIT DROPPING

Wei Lijun Liu Zengji

(National Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract This paper investigates the optimal packet length for AAL2 packet voice system without bit dropping, which takes into consideration the features and quality of service of AAL2 packet voice. A conclusion is drawn that the optimal packet length is about 31byte for the case of 32kb/s encoded voice when AAL2 packet voice multiplexer without bit dropping is concerned. As far as 16kb/s encoded voice is concerned, the optimal packet length is about 27 byte. Under this condition, good voice quality can be achieved with small packet overhead.

Key words Asynchronous Transfer Mode(ATM), ATM Adaptation Layer type 2(AAL2), Packet voice, Quality of service

魏立军: 男, 1975 年生, 博士生, 当前主要研究方向为综合业务网与 ATM 技术.

刘增基: 男, 1937 年生, 教授, 博士生导师, 综合业务网国家重点实验室主任, 中国通信学会会士, 当前主要从事宽带通信网络技术的研究.