

文章编号: 1001-0920(2002)06-894-04

## IP 电话网关中接口带宽的计算与分析

黄永峰, 李 星

(清华大学 电子工程系, 北京 100084)

**摘 要:** 分析语音数据在 IP 电话网关中的处理过程, 计算出 RTP/UDP/IP 协议的封装开销, 建立了在有静音压缩条件下的网关中多路编码器输出比特率的数学表达式, 并利用该表达式计算了网关中各处理器之间在各种处理话路下的最小带宽, 同时分析了接口带宽利用率与网关的处理密度  $N$  的关系。

**关键词:** IP 电话网关; 静音压缩; G 723 1; 语音编码

**中图分类号:** TP 393      **文献标识码:** A

## Computation and analysis of interface bandwidth in IP telephony gateway

HUANG Yong-feng, LI Xing

(Department of Electronic & Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The speech signaling process in IP telephony gateway is analyzed. The overhead of RTP-UDP-IP stack of protocols is computed. The mathematic expression to compute the interface bandwidth is presented in the case of silence suppression, and minimum interface bandwidth is computed in the case of various number of voice channels based on the mathematic expression. Finally, the relationship between utilization efficiency of bandwidth and voice channels of IP telephony gateway is analyzed.

**Key words:** IP gateway; silence suppression; G 723 1; speech encode

### 1 引 言

随着 IP 电话的飞速发展, IP 电话网关已成为当前通信领域研究的热点。目前, 有关 IP 电话网关的国际标准和协议很多, 如: ITU-T SG16 正在制定的 H. GCP 标准、IETF 制定的 IP 电话网关控制协议(M GCP)等。这些标准较全面地描述了 IP 电话网关的功能和系统构成。因此, 基于上述标准所开发的网关产品层出不穷, 且具有各自的特点。但根据各个组织指定的网关标准以及综合分析目前 IP 电话网

关产品, 可归纳出一个 IP 电话网关设备具有如下的共同特征:

- 1) 由一个功能强大的、开放的主机系统处理器来完成主机系统的操作和其他应用。
- 2) 在分布式模式下, 嵌入一块或几块协议处理器来处理网络协议。例如 RTP/UDP 等。
- 3) 数字信号处理模块是其关键部件, 用于语音编码和解码、回声消除以及其他信号处理。
- 4) 提供局域网和广域网的网络接口, 如: 以太网网络接口、E1/T1 接口等。

收稿日期: 2001-10-08; 修回日期: 2002-01-14

基金项目: 中国博士后基金项目

作者简介: 黄永峰(1967—), 男, 湖北赤壁人, 博士后, 从事计算机网络与通信技术、多媒体信息处理和通信技术的研究; 李星(1956—), 男, 北京人, 教授, 博士生导师, 从事计算机网络、多媒体信息处理和人机通信技术及理论等研究。

5) 各处理器之间采用语音总线或其他方式连接。网关应支持 SCbus、MV IP 等语音总线。它们采用时分复用技术, 在处理器之间进行多通道语音和控制信号的传输, 因此必须具备一定的传输带宽。

根据上述分析, IP 电话网关是由若干个不同类型的处理器的协作来共同完成网关的控制和语音的转换等功能。因此, 一个网关通常由 DSP 处理器、协议处理器和主处理器组成, 每种处理器分别完成语音不同阶段的处理<sup>[1]</sup>。图 1 所示是语音信号在网关中的处理过程。

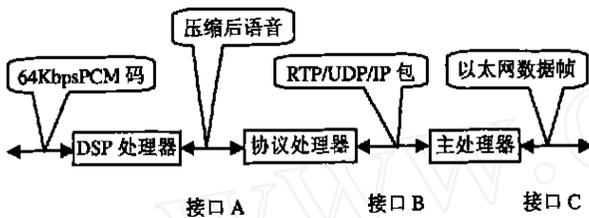


图 1 语音数据在网关中的处理过程

由图 1 可知, 语音数据在网关中的接口 A、B、C 中呈现的数据格式和数据量的大小不同, 因此传输这些数据的带宽也就不同, 那么在设计网关时, 如何来确定这些接口的带宽呢? 这是网关开发人员感到很茫然的问题。本文通过分析语音编码器在活动期和静音条件下的编码特征, 建立了在  $N$  路语音编码下的输出比特率的数学计算模型, 根据语音数据在上述 3 种接口下的传输格式, 计算出 3 种接口必须具备的最小带宽和带宽利用率, 并分析了带宽利用率与处理密度  $N$  的关系。

## 2 编码器输出比特率计算模型的建立

### 2.1 编码器输出比特率函数

大多数语音编码器都实现了语音活动检测算法, 使得静音阶段占用的带宽比活动的话音阶段所用的带宽少得多。一般来说, 活动阶段的比特率是一个常数, 假设为  $M$ , 而在静音阶段, 尽管没有进行语音编码, 但是象 G.723.1 这样的编码器还会发出一些描述背景噪声等级以及其他参数的信息, 因此, 还会有一定的比特率, 假设为  $m$ 。由于 G.723.1 是目前 IP 电话网关中最常用的编码算法, 所以下面以 G.723.1 为例, 分析在  $N$  路语音情况下的语音编码所需带宽。

根据语音编码器的行为特征, 将一次语音通话期间的单向网络比特率速率模型定义为用活动语音

间隔序列  $T_{active}(i)$  和静音间隔序列  $T_{silence}(i)$  表征的两级函数, 如图 2 所示。并将活动速率  $\alpha$  定义为活动语音占整个通话时间的比率, 如

$$\alpha = \frac{\sum_{i=0} T_{active}(i)}{\sum_{i=0} (T_{silence}(i) + T_{active}(i))} \quad (1)$$

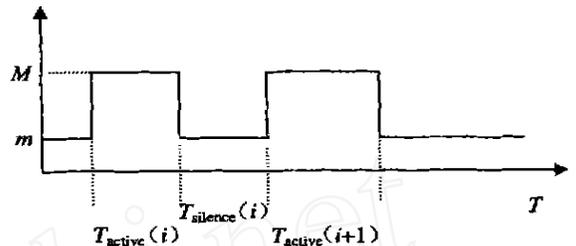


图 2 单向编码输出比特率速率函数

通过大量实验数据的测试,  $\alpha$  比较好的平均值通常为 0.35, 但为了计算的可靠性, 一般取保守值为 0.5。

### 2.2 网关编码器同时处理 $N$ 路话路模型

当 IP 电话网关同时转换  $N$  路话路时, 其中的编码器必须同时对这  $N$  路语音进行处理, 但这些通话不会同时处于活动状态, 因此所需的带宽必将小于  $N * M$ 。假设在任何时候  $N$  路通话时有  $I$  路同时活动的概率为  $\beta(I)$ , 则

$$\beta(I) = C_N^I * (1 - \alpha)^{N-I} * \alpha^I = \frac{N!}{I! (N-I)!} * \alpha^I * (1 - \alpha)^{N-I} \quad (2)$$

于是在  $N$  路同时通话的情况下的平均单向比特率  $W(N)$  为

$$W(N) = \sum_{I=0}^N \beta(I) * [IM + (N-I) * m] \quad (3)$$

将式(2)代入式(3), 可得

$$\begin{aligned} W(N) = & \sum_{I=0}^N \frac{N!}{I! (N-I)!} * \alpha^I * (1 - \alpha)^{N-I} * [IM + (N-I) * m] = \\ & \alpha \left( \sum_{I=0}^N \frac{N!}{I! (N-I)!} * \alpha^{I-1} * (1 - \alpha)^{N-I} * IM \right) + \\ & \alpha \left[ \sum_{I=0}^N \frac{N!}{I! (N-I)!} * \alpha^{I-1} * (1 - \alpha)^{N-I} * (N-I) * m \right] \end{aligned} \quad (6)$$

当  $N$  为无穷大时, 有等式

$$\begin{aligned} & \sum_{I=0}^N \frac{N!}{I! (N-I)!} * \alpha^{I-1} * (1 - \alpha)^{N-I} * IM = \\ & M \frac{\partial(\alpha + 1 - \alpha)^N}{\partial \alpha} = \alpha N M \end{aligned} \quad (7)$$

成立。将式(7)代入式(6),可得到在  $N$  趋近于无穷大时输出比特率计算表示式

$$W(N) = N(M\alpha + m(1 - \alpha)) \quad (8)$$

将式(8)定义为  $N$  路语音编码器输出的极限平均比特率。因为极限平均值式(8)还可以解释为在一定传输时间内的平均传输比特率。因此它表征了带宽的平均实际开销。

### 3 接口带宽计算和分析

#### 3.1 因特网协议开销

为了在 IP 网络上传输语音信号,通常采用 RTP-UDP-IP 协议栈打包,而这些协议会引进 40 个字节的头开销<sup>[2]</sup>。其中 IPv4 的开销为 20 字节,UDP 为 8 字节, RTP 为 12 字节。对于目前普遍使用的 G.723.1 来说,5.3 码率的编码输出帧长为 20 字节,6.3 码率为 24 字节,静音为 4 字节。为提高语音传输的效率,一般一个语音包(IP 分组)链接  $n$  个压缩的语音帧,分组化延迟也将相应地增加  $n * FD$ ,其中对于 G.723.1 来说  $FD = 30ms$ 。每个分组中包含的帧的数量是有限的,因为必须保持从嘴到耳的延迟满足交互的良好性,一般情况  $n = 4$ <sup>[3]</sup>。另外,协议处理

器封装了 IP 包后,主处理器必须将 IP 分组进一步封装在以太网的数据帧中,因此又会导入额外的 26 字节开销。根据上述分析,可计算出 IP 网关中不同层次的网络协议下的开销,如表 1 所示。

表 1 IP 网关中不同协议下的数据封装开销

	6.4 kbps 码率	静音
帧长(数据字节)	24	4
帧持续时间 /ms	30	30
每个 IP 分组中帧数	4	4
每个 IP 分组的字节数	96	16
IPv4 + UDP + RTP 的开销 /字节	40	40
包括开销在内的比特率 /kbps	9.07	3.73
以太网开销 /字节	26	26
包括开销在内的比特率 /kbps	10.8	5.46

#### 3.2 接口带宽的计算

在 IP 电话网关中,3 种处理器之间的接口 A, B, C 所需最小单向带宽必须等于所传输的语音数据的比特率大小,否则就会造成语音包的丢失,具体值可根据表 1 和式(6)计算得到。而在一定时间内传输的平均比特率可由式(8)计算得到。因此,将带宽利用率定义为  $\eta(N)$ 。其中  $\eta(N)$  可由

$$\eta(N) = \frac{\sum_{l=0}^N \frac{N!}{l!(N-l)!} * \alpha^{l-1} * (1-\alpha)^{N-l} * [M + (N-l)*m] - N[M\alpha + m(1-\alpha)]}{\sum_{l=0}^N \frac{N!}{l!(N-l)!} * \alpha^{l-1} * (1-\alpha)^{N-l} * [M + (N-l)*m]} \quad (9)$$

表 2 N 路语音编码器的带宽计算结果(带宽和比特率的单位均为 kbps)

处理话路数 $N$	1	2	3	4	5	6	15	20	30	100
接口 A 平均比特率	3.73	7.47	11.2	14.9	18.68	22.4	56.0	74.7	112.5	373.5
接口 A 所需带宽	6.4	11.4	15.2	17.9	21.23	24.7	58.9	77.6	114.9	381.5
接口 B 平均比特率	6.4	12.8	19.1	25.6	32.0	38.4	96.0	128.0	192.0	640.0
接口 B 所需带宽	9.07	17.9	26.2	32.8	39.95	47.2	103.9	135.8	207.4	653.8
接口 C 平均比特率	8.13	16.2	24.4	32.5	40.65	48.8	121.9	162.6	243.9	813.0
接口 C 所需带宽	10.8	19.6	27.5	35.9	44.73	53.3	132.9	172.3	248.9	821.8
带宽利用率 /%	58	65	74	83	88	91	95	96	97	98

计算得到。

根据上述各式和表 1 可计算出在不同话路( $N$ )的条件下,图 1 中 3 种接口 A, B, C 单向传输所需的最小带宽、平均比特率和带宽利用率,计算结果如表 2 所示。假设  $\alpha = 0.5$ , G.723.1 采用 6.3 kbps 编码模式,一个 IP 封装一个 G.723.1 语音帧。

#### 3.3 数值分析和结论

根据表 2 中带宽利用率的计算结果,可以得到

图 3。图 3 表征了 IP 电话网关中接口带宽的利用率与网关的处理密度  $N$  的关系。

分析表 2 和图 3,可得出如下结论:

1) 在 IP 电话网关中,3 种处理器之间的接口所需带宽大小不同,差别取决于不同的协议数据格式的封装开销。例如图 1 中, DSP 与协议处理器之间的传输带宽就比协议处理器与主处理器之间的传输带宽小,而且主处理器与以太网卡的接口带宽最大。

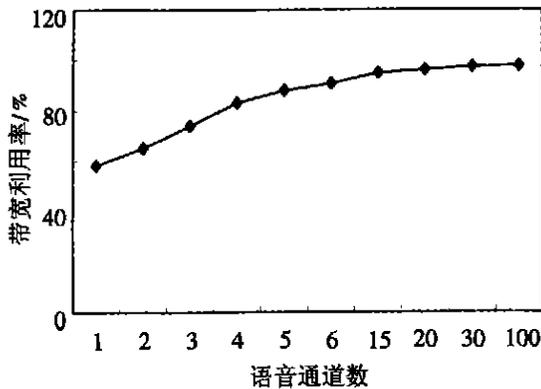


图 3  $N$  路语音同时处理的带宽利用率

2) 在 IP 电话网关中, 如果编码器采用了静音检测机制, 则各部件之间的接口所需最小带宽要大于数据传输的平均比特率。而且随着处理密度  $N$  的增大, 最小带宽趋近于平均比特率。

3) 在 IP 电话网关中, 如果编码器采用了静音检测机制, 带宽的利用率与 IP 电话网关的处理密度  $N$  有关, 处理密度  $N$  越大, 带宽利用率越高。也就是说, 只有在处理密度  $N$  较大时, 才能显示出编码器的静音压缩所带来的带宽优势。

需要指出的是, 上述带宽计算模型是在假设网关各部件之间没有传输缓冲区的情况下建立的, 实际上不是如此。当存在缓冲区时, 实际需要的最小传输带宽要比上述计算值小, 而且缓冲区越大, 实际需要的最小传输带宽就越接近于极限平均比特率。但是, 在 IP 电话网关中, 缓冲区不可能很大, 因为随着缓冲区的增大, 排队的分组延迟会增大, 这就减低

了通话的交互性。由于 IP 电话的最大受限是端到端的延迟, 如果以降低 IP 电话的交互性为代价来换取一定的带宽是很不明智的作法。因此, 在 IP 电话网关中缓冲区不可能设置很大, 本文所建立的计算模型对实际设计网关带宽仍然很有参考价值。根据该计算模型, 对于处理密度较小的网关, 虽然会导致一定程度的带宽过度分配, 但这对网关中的控制信号的传输是必要的。

## 4 结 语

计算 IP 电话网关中各处理器之间的接口带宽是开发网关的一个重要环节, 带宽设计过小, 会造成语音数据丢失, 过大会造成资源浪费。因此, 本文提出的带宽计算模型对网关的开发和研究有很重要的理论指导意义。

### 参考文献 (References):

- [1] Maryni P, Pacific G. Real-time estimation of the link capacity in multimedia networks [A]. *Proc of IFIP 1997, Building QoS into Distributed Systems* [C]. 1997. 12: 101-102
- [2] H Schulzrinne, S Casner, R Frederick, et al. RTP-A transport protocol for real-time applications [J]. *Internet Draft, draft-ietf-avt-rtp-new-ops*, Internet Engineering Task Force, 1997, 6(4): 12-18
- [3] Daigle J N, Langford J D. Models for analysis of packet voice communications system [J]. *IEEE JSA C*, 1986, 4(6): 1871-1894

(上接第 893 页)

### 参考文献 (References):

- [1] Borenstein S. The trouble with electricity markets (and some solutions) [R]. University of California Energy Institute, 2001.
- [2] 张少华, 李渝曾, 王长军, 等. 电力市场中的远期合同交易 [J]. *电力系统自动化*, 2001, 25(10): 6-10  
(Zhang Shaohua, Li Yuzeng, Wang Changjun, et al. Forward contract trading in an electricity market [J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2001, 25(10): 6-10)
- [3] 茅宁. 期权分析——理论与应用 [M]. 南京: 南京大学出版社, 2000.
- [4] Gedra T W, Varaiya P P. Markets and pricing for interruptible electric power [J]. *IEEE Trans on Power Systems*, 1993, 8(1): 122-128
- [5] Gedra T W. Optional forward contracts for electric power markets [J]. *IEEE Trans on Power Systems*, 1994, 9(4): 1766-1773
- [6] David A K. Risk modeling in energy contracts between host utilities and BOT plant investors [J]. *IEEE Trans on Power Systems*, 1996, 11(2): 359-365