

一种动态时分窄带多业务接入新方案

孔红伟, 阮 方, 冯重熙

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘 要: 如何在窄带低比特率链路上进行高效的语音数据等多业务综合接入, 并保证语音等实时业务的质量是目前多业务接入的一个重点问题. 本文提出的动态时分多业务接入方案解决了 Digital Data Network (DDN) 专线上窄带压缩语音, ADPCM 语音, 传真, 以及数据的同时接入问题, 有效地解决了 DDN 专线上多业务接入的质量保证问题, 提高了链路利用率. 本文对于该方案的性能进行了分析, 并与目前基于 IP 的多业务接入方案进行了比较. 本方案能够提供目前的 VoIP 方案下所无法提供的语音, 传真业务的质量保证, 在多业务的支持上比 VoIP 更加简单, 更有吸引力.

关键词: 动态时隙分配; VoIP; DDN; 多业务接入; 复接

中图分类号: TN914.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 04-0587-04

A Novel Dynamic Time Slot Allocation Solution for Narrow Band Multi Service Access

KONG Hong wei, RUAN Fang, FENG Chong xi

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

Abstract: In this paper, One Dynamic Time Slot Allocation (DTSA) solution is proposed to enable the simultaneous access of voice, FAX and data on DDN leased line. This solution can guarantee the QoS of these services and also improve the utilization of the bandwidth. A thorough analysis of this solution's performance and the comparison with VoIP are given in this paper. The performance of this system shows that this solution can provide better QoS. Its simplicity makes this scheme more attractive than VoIP scheme.

Key words: dynamic time slot allocation; VoIP; DDN; multi service access; multiplexing

1 引言

局域网的广泛采用以及 Internet 的快速发展, 使企业数据通信得到了飞速的发展. 利用数字数据网 (DDN) 租用专线进行企业局域网互联的方式也随之得到了很快的发展. 租用专线的成本比较高, 而数据业务具有突发性, 租用专线的带宽并不能得到充分的利用. 如何将语音、传真等业务与数据业务复接在一起, 提高链路利用率, 降低通信费用具有现实的社会经济意义. 比较典型的多业务接入方案有基于 IP (Voice Over IP) 的语音数据统计复用方案以及基于固定时隙分配的语音数据复接方案. 目前基于 IP 的语音解决方案, 主要有 IETF 提出的 SIP 协议 (Session Initial Protocol)^[1], 和 ITU-T 的 H. 323 协议族^[2]. 但是基于 IP 的语音、数据综合接入方式在保证语音等实时业务的延时以及延时抖动上面临着很大的挑战^[3, 6, 9], 在支持传真等窄带实时数据业务时也很复杂^[4]. 应用在 DDN 窄带租用专线上时, 语音业务的延时及抖动更成为限制语音业务质量的关键因素, 而仅仅通过 IP 层以及高层的多媒体通信协议是无法解决此问题的. 采用固定时隙分配方式的数据语音综合接入如 ITU-T 建议 X. 50, X. 58, 虽然可以保证语音的质量, 通过修改也可支持传真业务等, 然而其复接效率低, 链路的

利用率低且不够灵活.

为此, 本文提出了一种 DDN 窄带租用线上的动态时分复接方案. 本方案通过动态时分复用和解复用, 大大提高了带宽利用效率, 较好地解决了 DDN 网上通过 IP 传输语音的延时抖动问题. 可以有效地对语音、传真以及数据等业务进行支持. 通过合理的帧结构设计, 本方案具有较强的抗链路误码能力, 有效地解决了帧失步后的同步问题. 本文详细分析了此方案的性能, 并给出了与 VoIP 方案的比较. 基于本方案所实现的系统的性能和业务质量证明了本方案的合理性和优点.

2 方案设计与性能分析

基于 IP 的语音接入面临的延时由四部分组成: 编解码延时, 传输延时, 排队转发延时, 接入延时. 其中变化最大的是排队转发延时. 据统计^[9], 在 Internet 上, 数据包经历的延时一般在 30ms~170ms 之间, 且随网络的业务负载情况的不同而有很大变化. ITU 的研究表明 150ms 以下的延时能达到传统 PSTN 的语音质量, 延时大于 400ms 则实现全双工通信非常困难^[3]. 为避免 IP 转发的排队延时以及延时抖动, 本方案提出了动态时隙分配的方案, 充分利用了时分复用延时小的特点并提高了链路利用率. 通过动态时隙分配, 语音的复接延时可

以忽略不计,从而解决了通过 IP 传输语音的延时抖动问题.

本文提出的基于动态时分方案的系统典型应用框图如图 1. 采用动态时分的方式, 必须考虑帧结构的形式, 帧的同步性能, 以及系统的设计要求. 以下给出本方案的帧结构, 及对于这种帧结构的性能分析.

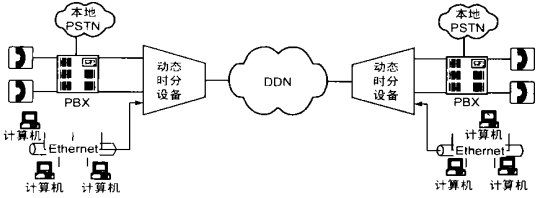


图 1 系统构成图

本文提出的帧结构如图 2 所示. 整个帧长为 256 比特, 共 32 个字节. 分为四个“子帧”. 帧头占用 8 位, 指示比特占用 8 位, 用于指示对应的语音通道是否有摘挂机. 嵌入控制通道 (ECC) 占用 8 位, 用来传送管理、监控、告警信息. 而标有 V/D



图 2 帧结构图

对成帧数据传输, 如何在有误差干扰及承载数据流中有假帧头干扰时保持正确的帧同步, 对于业务的正确解复用至关重要. 以下将对本方案中的帧长选择, 帧结构在有误差时的性能等进行分析. 为减少误锁概率并增加抵抗传输误码的能力, 采用了同步保护机制. 状态转移图如图 4.

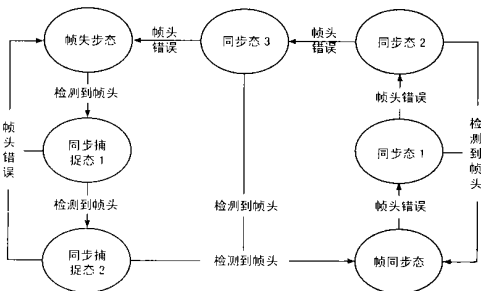


图 4 帧同步状态转移图

由图 4 可以看出, 对帧同步定位及帧失步判断, 分别采用了三帧, 四帧的保护来抵抗误码的影响. 据文[11]有:

$$\frac{T_h}{T_s} = \frac{1 - P_s^\beta}{(1 - P_s) P_s^\beta} \quad (1)$$

$$\frac{T_l}{T_s} = (\alpha + \beta - 0.5) + P_c(N + \sum_{j=1}^{\beta} j) + P_s \sum_{j=1}^{\alpha} j \quad (2)$$

其中: T_h 为帧平均同步时间; T_l 为帧平均失步时间; T_s 为一

的通道则根据系统的配置情况, 以及有无摘机指示进行动态分配. 标有 D 的通道则固定分配给数据通道. 对语音采用 G. 729. A 编码压缩, 速率为 8kb/s, 并对其动态分配 8kb/s 的语音通道. 对 FAX 业务以及低速拨号业务信号采用 ADPCM 编码, 并对其动态分配 32kb/s 的语音通道. 指示比特的设置与时隙分配在同一帧内进行, 从而由于语音业务的接入而引起的时隙分配不会影响数据通道的正常复接、分接. 本方案在 256kb/s, 128kb/s, 64kb/s 速率下分别能支持 8, 4, 2 路语音业务.

图 3 给出 256kb/s 链路速率下, 第 1、2、4 路语音通道分配, 且第二路为 ADPCM 编码方式下的帧结构图. 在 64kb/s 时每个指示比特占用的带宽为 250b/s. 虽然 ITU-T 对于 E1 复接中随路信令的推荐为每个信令比特占用的带宽为 500b/s, 但是在 250b/s 的速率下, 实际的系统工作良好. 基于此, 可认为本方案的指示比特的带宽在 64kb/s 的链路下是足够的. 在 128kb/s 和 256kb/s 的链路速率下, 每个指示比特的带宽分别为 500b/s, 和 1kb/s, 足以保证摘挂机信令的传送.



图 3 动态分配的帧结构图

帧的时长; P_s 为帧头错误的概率; P_c 为虚警概率; α 为帧同步校核系数; β 为帧同步的保护逻辑常数. 设传输误码率为 P_e , 帧头长度为 n , 则一般 $n * P_e \ll 1$, 从而 $P_s = 1 - (1 - P_e)^n$ 近似为 $n * P_e$. 从而帧的平均同步时间仅仅取决于帧头的长度和传输误码率. 本方案中 α 为 3, β 为 4. 在帧头长度 n 为 8 时, $P_c = 1/256$. 根据以上公式分析得出的帧平均同步时间、帧平均失步时间与误码率在不同的链路速率下的关系如表 1.

表 1 帧失步特性计算数据

帧结构参数						误码失帧 ($P_e = 1e-3$)		
速率 (kb/s)	N	α	β	N	T_s (ms)	T_h (h)	T_l (ms)	T_h/T_l
64	8	3	4	256	4	1085	30.2	$1.3 * 1e8$
128	8	3	4	256	2	543	15.1	$1.3 * 1e8$
256	8	3	4	256	1	272	7.55	$1.3 * 1e8$

DDN 专线对端到端误码率的要求为: 国际链路误码率要低于 $3 * 1e-7$, 国内三级网络结构中最长连接 (10 个节点) 情况下端到端误码率要小于 $1e-6$ [5], 远低于 $1e-3$. 以上帧同步机制, 能保证系统的平均同步时间足够长. 以满足高质量语音及数据的传输要求. 虽然帧越长则复接效率越高, 然而帧长度增加, 每帧的时长随之增加, 由式 (2) 可以看出, 由误码引起的平均失步时间也将增大. 选择 256 这个长度是兼顾效率和性能的考虑. 256 比特帧长下, 平均失步的时间在 64kb/s 时仅为 30ms 左右, 在人耳的感觉仅为一个小的间断, 对语音质

量影响很小。

指示比特误码的影响. 本方案利用指示比特进行时隙动态分配, 一旦指示比特出现误码将出现数据丢包及语音编码帧失步. 对于语音流, 利用了 G. 729. A 编码帧中的冗余比特进行自同步. 采用这种方式, 在指示比特正确时, 最多只需要 160ms 就可重新实现 G. 729. A 编码帧的同步. 在语音流失步时, 通过发送背景噪声, 使用户不易察觉这种语音帧的短暂失步, 用户感受到的语音质量不会有明显恶化. 指示比特出现错误时, 会同时影响数据帧的分接. 由于最小的数据包长为 64 字节, 至少需要两帧才能传完一个数据包. 从而一个帧内的指示比特误码, 最多导致两个数据包的丢失. 从而由于指示比特误码导致的丢包率 $P_{li} = 2 * \sum_{i=1}^8 P_e^i \approx 2 * P_e (P_e \ll 1)$, 而数据包由于比特误码导致的丢包率 $P_{lb} = 1 - (1 - P_e)^{L * 8} \approx P_e * L * 8 (P_e \ll 1)$, 从而有 $P_{lb} / P_{li} \approx L * 4 \geq L_{min} * 4$, 此处 L_{min} 为数据包最小包长. 以太网上最小包长为 64 字节. 则由于比特误码导致的丢包率比由于指示比特错误导致的丢包率高两个量级. 从而指示比特误码引起的数据丢包可以不计, 而无需对指示比特进行特别的保护.

本方案中, 用于复接, 分接的必须开销仅为指示比特与帧头同步, 它们在帧中占用的比例为 2 字节/32 字节= 1/16, 即本方案的复接的固定开销约为 6.67%, 从而复接效率达到 93.3%.

3 与 VoIP 方案的比较

以下将从延时与延时抖动, 带宽的利用率, 对于 FAX 和其他拨号业务的支持难易程度等方面对本方案和 VoIP 方案进行比较. 通过这些比较表明本方案在窄带专线多业务接入方面比 VoIP 方案具有更好的性能, 系统更简单.

(1) 延时与延时抖动

从已有的一些统计结果^[6,9]可知, 在 IP 网上, 由于语音包通过排队转发的方式传输的, 不同的转发路径, 不同的负载导致语音包经历的延时是不确定的, 且不同时间变化较大, 一般的端到端延时在 130ms~ 270ms^[9]. 这是无法满足商业用户的质量要求的. 而采用本方案在同样的编解码方案(编解码延时 40ms)以及传输延时(10ms)下仅有 50ms 的延时. 以上关于 IP 下延时的结果是基于传统的无 QoS 保证的 Internet. 研究表明通过采用调度算法可以极大地改善实时业务的端到端延时特性^[7,10]. 由对调度算法的延时特性的分析^[12], 可以得出对于 PGPS(Packet based general process sharing)的一个改进的延时界

$$D_i \leq \frac{\sigma_i}{\min_{k=i,2,\dots,N} g_i^k} + \sum_{k=1}^{N-1} \frac{L_i}{g_i^k} + N \sum_r \frac{L_{max}}{r} \quad (3)$$

上式中前两部分是与调度算法相关的延时, 而最后一部分则是与链路速率及转发跳数相关的延时. 对于所有基于包的调度算法均有此延时. 从而即使采用 PGPS 此类能保证延时界的调度算法, 在 64kb/s 的速率下, 语音包经过一次转发, 仍可能因为数据包的影响而最大有 195ms 的排队延时(对于以太网而言, 最大的包长为 1518 字节). 可见, 对于低速 DDN 专线, 仅仅靠调度算法是无法提供满意的端到端延时及抖动保证的.

数据包的影响而带来的延时抖动是比较大的. 要在低速率链路上采用 VoIP 方式并保证语音业务的延时及抖动特性, 需要分割 IP 包或者在数据链路层实现语音包对于数据包的抢占式优先级^[13]. 这些方案都增加了系统的复杂度, 增加了包的开销, 降低了效率. 比本方案要复杂得多.

(2) 带宽的利用率

由前一节可知本方案有固定的约 6.67% 的帧头开销. 而基于 IP 的方案其封装开销随 IP 包内封装的语音帧的个数而变, 提高效率的代价是引入了打包延时^[13]. 在 G. 729. A 编码方式下, 引入 40ms 的打包延时, 封装开销仍然在 50% 以上. 当话务量比较大, 且话路数较多时, 本方案的带宽利用率要高于基于 IP 的方案. 而话务量小时, 基于 IP 的方案带宽利用率较高.

(3) 对于 FAX, 拨号等业务的支持

本方案采用了动态时隙分配的方案, 对于 FAX 业务以及拨号业务, 通过分配 32kb/s 的语音通道采用 ADPCM 编码方式进行支持. ADPCM 编码可以透明地支持 G3 FAX 和拨号业务. 而 IP 方式对于传真的支持比较复杂^[4,8]. 需要实现复杂的网关以及相应的协议, 同时必须保证数据传输的实时性以避免通信过程因延时过长而中断. 目前的 Internet 是无法保证这一点的.

本方案已经应用于实际的系统设计. 以下给出系统的实验数据如表 2.

表 2 语音数据复接系统实测数据

链路速率	连续 Ping 对端计算机(5000 次)					
64kb/ s	语音通道分配(路)	包长 (字节)	延时(ms)			丢包数 (个)
			最小	平均	最大	
	0	2000	582	584	589	0
	1(8kb/s)	2000	672	679	686	0
	2(8kb/s)	2000	799	803	813	0
1(8kb/s) + 1 (32kb/s)		2000	1862	1864	1868	0

从以上延时数据可以看出, 分配不同路数的语音信道对于数据通道的影响仅是改变了其所能占用的带宽, 从而改变了数据包的延时, 但数据包的延时抖动变化很小, 且与链路带宽无关. 可知延时抖动是由于包的发送抖动引起的. 语音业务流并不影响数据流的延时抖动特性, 这与基于优先级的调度方案有着明显的差别^[10]. 与 VoIP 方案相比, 本方案具有能保证业务质量, 简单等优点. 而在灵活性以及可扩展性上比基于 IP 的方案有所不足.

4 总结

采用本文提出的动态时隙分配的多业务接入方案可较灵活地在 DDN 专线上同时接入语音、传真以及数据业务. 能够以比较简单的方式较低的成本来保证语音和传真业务的质量. 语音的业务质量接近普通 PSTN 市话的质量. 与 VoIP 方案相比, 本方案具有更大的吸引力. 本方案已经有商业产品实现. 通过系统的语音质量测试, 数据传送丢包率测试, 以及传真发送测试的结果, 证明了本文提出的动态时分的多业务接入方案, 是一种有效的能保证业务质量的窄带多业务接入方

案.

参考文献:

- [1] RFC2543. SIP: Session Initiation Protocol [S].
- [2] H.323. Visual Telephone Systems and Equipment for Local Area Networks Which Provide a Non-Guaranteed Quality of Service [S].
- [3] G. 114e. ONE WAY Transmission Time [S].
- [4] 舒华英, 等. IP 电话技术及其应用 [M]. 北京市: 人民邮电出版社, 1999. 141- 154.
- [5] 陈炽文, 等. 数字数据网 [M]. 北京市: 清华大学出版社, 1999. 37- 43.
- [6] M. Hassan. Internet telephony: Services, Technological challenges and products [J]. IEEE Communication Magazine, 2000, 38(4): 96- 103.
- [7] McCullough, et al. interested in VoIP? How to proceed [J]. Business Communications Review, Voice 2000. 1999.
- [8] RFC2542. Terminology and Goals for Internet Fax [S].
- [9] Thomas J Kostas, et al. Realtime voice over packet switched networks [J]. IEEE Network, 1998: 18- 28.
- [10] M 施瓦茨. 电信网: 协议模型及分析 [M]. 北京市: 人民邮电出版社, 1991. 61- 66.
- [11] 孙玉. 数字网传输损伤 [M]. 北京市: 人民邮电出版社, 1991. 273- 290.

- [12] Dimitrios Stiliadis. Latency rate servers: a general model for analysis of traffic scheduling algorithms [J]. IEEE Trans On Networking, 1998, 6 (5): 611- 624.
- [13] RFC2689. Providing Integrated Services over Low-bitrate Links [S].

作者简介:



孔红伟 男, 1974 年 8 月生于新疆伊犁市, 1998 年毕业于清华大学电子工程系, 现在清华大学电子工程系通信与信息系统专业攻读博士学位, 从事多业务接入网系统的开发研究, 研究方向为宽带多业务接入的 QoS 保证, 开发的 H6DVM 已经面市商用. (konghw@ 263. net)



阮 方 男, 1963 年 12 月生于内蒙包头市, 清华大学电子工程系副教授, 从事多业务接入网, 光通信研究, 宽带多业务接入的 QoS 保证等. (rtfh@ mail. tsinghua. edu. cn)