

文章编号:1001-9081(2006)09-2196-03

基于 TCP 友好控制机制的 VoIP QoS 研究

曹龄兮, 李建华, 姜 悦

(中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410075)

(caolxbx@sina.com)

摘 要:在基于 UDP 的 VoIP 应用中融入流量控制机制是确保其服务质量的重要方式。为了动态适应 VoIP 中的编码和分组,文中采用一种改进的 TCP 友好控制机制(TFRC)解决网络 congestion 的问题,在端点对 UDP 语音流采用基于公式的发送速率调整,使之体现对 TCP 数据流的友好性。经过仿真和分析,该控制机制将公平地处理携带小分组的语音流和其他数据流,进一步保障了 VoIP 的服务质量(QoS)。

关键词:IP 语音; 服务质量; TCP 友好控制机制; congestion

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Research of VoIP QoS based on TCP-friendly rate control mechanism

CAO Ling-xi, LI Jian-hua, LOU Yue

(Department of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha Hunan 410075, China)

Abstract: It is important to introduce flow control mechanism into UDP(User Datagram Protocol) based VoIP(Video over IP) in order to guarantee its quality service. To get dynamically adapted to both the coding rate and packetization for VoIP Flows, this paper presented an improved TFRC(TCP-friendly rate control) mechanism to solve the congestion of Network, which provided the rate adjustment based on equation at the end host for the UDP streams to show TCP-friendly. By simulation and analysis, it is suggested that this new mechanism can fairly treat VoIP with small packets and other data flows with large packets, and guarantee QoS of VoIP.

Key words: VoIP(Video over IP); QoS; TFRC(TCP-friendly rate control); congestion

0 引言

随着 Internet 的迅猛发展和编码、分组等技术的提高,IP 电话(VoIP)利用 IP 网络实现语音通信,成为一种很有发展前景的先进通信手段。目前的 IP 网络是为传输数据而设计的,对所有的业务都采用尽力而为的服务方式,难以满足实时语音通信的要求,而且也难以达到电信级的通信质量。在网络中同时提供语音和数据应用,必须特别考虑语音应用的服务质量。VoIP 的服务质量主要归结为承载网络问题,造成网络延迟、延迟抖动、网络 congestion 和包丢失等等。

基于 UDP 的实时多媒体业务,如 IP 电话、组通信等都呈快速增长趋势,极有可能在一段时期后与 TCP 业务分庭抗礼。当有 congestion 控制机制的 TCP 连接同没有 congestion 控制机制的 UDP 数据流共享同一个 congestion 的网络时, TCP 连接根据网络的 congestion 情况不断降低发送速率,导致 TCP 连接的发送速率会大大低于竞争的 UDP 数据流。为了避免引起长时间的、严重的网络 congestion,并且和 TCP 连接公平地分享网络带宽,UDP 数据流应该采用速率控制策略,不仅避免了网络 congestion,而且能够和 TCP 连接公平共享带宽。因此, S. Floyd 等提出 TCP 友好(TCP-friendly)的概念^[1],研究人员又提出了各种 TCP 友好控制机制来保证 VoIP 的通话质量。

在本文中,我们将讨论如何在 VoIP 应用中实现高效的通信,通过改进 TCP 友好控制机制(TFRC)来动态适应编码率、分组率以优化 VoIP 的质量。

1 VoIP 中的 QoS 概述

1.1 VoIP QoS 需求

在 IP 网络中,对传输提供的是一种尽力而为的服务机制,IP 本身并不提供保障机制。所以在无保障的网络中传送对质量服务非常敏感的实时语音数据是非常不可靠的, QoS 作为一种对用户所提供服务的综合衡量手段^[2],其作用是确保在网络中特定类别的应用可以获得相应的资源保证。在 IP 网络中, QoS 的作用是保证在会话建立和会话过程中,其带宽、包丢失率、延时和 congestion 处在一定的范围限制内,以保障连接和会话的质量。

1.2 影响 QoS 的因素

目前,国际上对于 VoIP 业务的 QoS 主要从可靠性、呼叫建立时间、端到端延时、抖动和语音质量几个方面来衡量。可靠性指的是网络中 IP 包的丢失率。在传输过程中, IP 包会因为网络 congestion、网络设备故障、或者时间标签失效等原因而被丢弃,当包丢失率超过一定比例的时候会对语音传输质量造成明显的影响。呼叫建立时间则是和网络间延时、认证延时及硬件延时等有关。端到端延时主要包括软件延时(如分组延时、音频编解码延时等)和网络传输延时。抖动是指延时变化,延时变化直接影响到接收端对语音数据的处理。语音质量和在 VoIP 系统中采用的语音编码方式有关。一般来说在语音传输中包丢失率在 5% 以内,而抖动范围小于 20ms,端到端延时在 300ms 以内得到的语音传输质量是可以接受的。

收稿日期:2006-03-13; 修订日期:2006-05-23

作者简介:曹龄兮(1982-),女,湖南长沙人,硕士研究生,主要研究方向:计算机网络,数据挖掘,软件工程; 李建华(1963-),男,湖南长沙人,教授,博士研究生,主要研究方向:工作流、企业信息集成、软件工程; 姜悦(1981-),男,浙江天台人,硕士研究生,主要研究方向:计算机网络、数据通信。

1.3 VoIP 传输拥塞及解决方式

基于数据报协议(UDP)的实时多媒体应用日益增多,但互联网中存在大量的UDP应用会导致对TCP的不公平性^[5]。因为TCP会随着网络带宽的变化调节数据的发送速率,在拥塞时降低自己的带宽需求,而UDP则无视拥塞的存在,继续按照需要的带宽发送数据。UDP协议不像TCP协议有端到端的拥塞控制机制,它没有任何的服务质量QoS的保证和质量控制机制。如果不考虑网络的实际容量而大量发送非拥塞控制的UDP应用,很容易导致网络过载和高丢失率,还会大量侵占TCP应用的带宽。因此,基于UDP的应用需要增加相应的控制机制,做到与TCP应用公平地分享网络资源,使网络具有较高的利用率和较低的丢包率。基于UDP的VoIP语音传输所要求的传输质量与其他的TCP应用不同,首先它对延迟非常敏感,时延对会话质量的影响很大;其次,大的延迟需要的缓冲区将相应增大,这使得端对端延迟同样增大;最后,VoIP不能容忍语音包的丢失。

文献[3]建议使用编码和前向纠错相结合的方法来控制传输的语音包。通过接收者对丢失包的反馈,发送者降低编码率或者增大前向纠错的力度。他还模拟了VoIP传输适应的编码率,结果显示,动态可变编码形式要优于固定编码形式。Bolot没有使用TCP友好控制机制也没有改变包的发送率。文献[4]优化了VoIP中速率、错误率和时延控制之间的关系。通过模拟,他分析出最佳编码率和计算出既定包丢失率和往返时间的前向纠错参数。而且,他的实验使用了TCP友好控制机制保证了应用数据传输速率的稳定。目前还没有相应的控制使用TCP友好控制机制协同优化语音包分组和编码率。分析了以上几种不同的语音包速率控制算法,针对应该平滑变化的语音包速率,TCP友好控制机制应用于VoIP是比较合适的。

2 TCP友好控制机制解决VoIP传输拥塞

2.1 概念以及分类

TFRC(TCP-friendly rate control)^[1]是一种尽力而为服务方式中的单播拥塞控制机制。在TCP应用竞争传输带宽时,它是公平合理的,虽然相对于TCP来说是使其传输时间变长了,但是对于类似电话和流媒体传输等应用是非常合适的。

TCP友好控制机制主要分成两类^[11]:基于TCP的慢增长减(AIMD)窗口机制和基于建模的TCP友好控制机制。基于AIMD控制机制的优势在于工作原理以及稳定性、公平性等特性已经被大家所熟识,实现非常简单。但它的缺陷在于发送速率变化大,应用流的突发性强、抖动大。基于建模的友好控制机制,一方面可以使实时多媒体流根据丢失事件的发生率调整发送速率;另一方面,它的应用流量也不会因为单个包的丢失而将速率减半造成抖动,只是在多个连续的丢失事件发生后才将速率减小为一半,比较适合实时媒体流的流量控制。

2.2 基于建模的TCP友好控制机制

TCP友好数据流,是一种与TCP数据流在共享带宽情况下,其传输速率不大于TCP应用的数据流。TCP友好控制机制正是对于非TCP友好流实现友好控制,这对于语音流占多数的非TCP友好流是非常有价值的。

基于公式的TCP友好控制机制是基于建模的友好控制机制的一种。其算法是由TCP发送率方程^[11]而得,TCP的吞吐量在很大程度上取决于参数往返时间 t_{RTT} ,重传超时时间 t_{RTO} ,包大小 B 以及丢包事件率 p 。该丢包事件率在一段连续的时间间隔内测得,采用衰减加权的方式计算这些参数,我们利

用TCP速率计算公式:

$$T = \frac{B}{t_{RTT} \sqrt{\frac{2p}{3}} + t_{RTO} \sqrt{\frac{27p}{8}}(p + 32p^3)} \quad (1)$$

其中, B 是数据包的平均长度, t_{RTT} 是数据包的往返时间, t_{RTO} 是TCP的重传超时时间, p 为接收端计算出的丢包事件率,下面分别计算参数:

(1) t_{RTT} 与 t_{RTO} 的计算:

在每个发送周期内将重新计算 t_{RTT} ,如下:

$$t_{RTT} = t_{ack} - t_k \quad (2)$$

其中, t_{ack} 表示收到该应答信息的时刻, t_k 表示发送数据包时刻,为了达到平滑 t_{RTT} 的目的,采用平均 t_{RTT} 作为下一个时间周期内 t_{RTT} 值:

$$t_{RTT} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} w_i t_{RTT_i}}{\sum_{i=1}^{n_i} w_i} \quad (3)$$

w_i 为权重,其取值如下:

$$w_i = 1 - \frac{n/2 - i}{n/2 + 1}, \quad 1 \leq i < n/2 \quad (4)$$

根据最近的几次包返回的信息计算出的 t_{RTT} 具有较大的权值,越早的 t_{RTT} 其权值也越小,从而反映网络最新的变化状况。理论推算TCP重传超时时间 t_{RTO} 为 t_{RTT} 的两倍,即可取 $t_{RTO} = 2 * t_{RTT}$ 。

(2) p 的计算:

假定当前发送周期为 i ,当前时刻为 t_i , j 为第 $i-1$ 和 i 周期内包状态未知中的最小的数据包, n_i 是本周期内发送的最后一个数据包。记 x_i 为收到的数据包的个数, y_i 为丢失的数据包的个数,则丢包率 p 计算如下:

$$P_i = \frac{y_i}{x_i + y_i} \quad (5)$$

同样防止 p 波动较大,我们采用平滑滤波方法处理 p :

$$p = \alpha * p_i + (1 - \alpha) p_{i-1} \quad (6)$$

其中 $\alpha(0 < \alpha < 1)$ 为调整因子, p_{i-1} 为上一发送周期计算出的丢包率。

这种机制的目的是要保持一个相对稳定的发送速率,同时对拥塞做出反映。支持TFRC^[9]的源端和终端分别执行不同的功能,终端测量包在两端间传送所需的RTT时间,同时计算反映连续的多个RTT的丢失事件的速率。这种丢失事件指一个RTT时段内的一个或多个连续的丢包。终端在每个RTT内要向源端反馈收包的信息至少一次。利用获得的以上参数,终端按式(1)计算出源端允许的发送速率 T ,并将这个值发送给源端。源端收到信息后就会按照 T 直接增加或减少发送速率。TFRC一方面不像非响应流那样侵略性地抢占可获得的带宽,而是根据丢失事件速率的减小而平滑地增加发送速率;另一方面,它的应用流量也不会因为单个包的丢失而将速率减半造成抖动,只是在多个连续的丢失事件发生后才减小一半的速率,比较适合实时媒体流的流量控制。

2.3 针对语音分组改进的TCP友好控制机制

分组化技术和编码率共同影响着VoIP要求的带宽总量^[7],较高的编码率将有更好的通话质量。比如AMR语音编码技术(第三代移动通信语音编解码标准),编码器采用ACELP(代数码本线形预测)编码方式,它有8种速率模式,还有一种低速率的背景噪声编码模式。AMR语音编码器中的各种编码模式提供不同的容错度,语音速率根据信道状况的好坏自适应调整,能够使语音质量和系统容量达到完美结

合。然而,在带宽限定且出现拥塞的链路上,AMR 会自动降低编码率(语音包也相应减小),这样 VoIP 的质量也会大大降低。

不仅如此,在网络传输中,小分组(Small-Packet)所在的语音流因为利用率低,其他的数据流会增加它们的发包率以填充通道的容量,严重影响了流之间的公平性^[8],带宽的分配应该独立于包的大小,这就需要使用 TCP-friendly 控制机制来制止这种情况了。首先,小分组应被路由器特别对待;其次,应该对 TFRC 改进,使其有利于 VoIP 小分组的传输。应当设法改进计算最大发送速率的 TFRC 发送者。因为如果 TFRC 发送者使用了小分组的大小作为数据传送的参数,那么发送速率的限定值就要降下来。根据 TCP 速率方程,我们希望各种不同大小的分组被公平对待,由此使用一个修正因子 f 来权衡发送速率与现有分组大小的关系。

$$t' = T * f \quad (7)$$

$$f = \left(\frac{MSS}{s} \right)^p, \quad 0 < p < 1 \quad (8)$$

其中, MSS 是数据包的最大值, s 为单位内分组的大小,这里的 p 是个常数,困难就在于如何确定这个加权常数 p ,它是由传输的介质所决定的,在这里我们采用实验的方式测得。

3 仿真与结论

通过以上的分析,可建立一个模型对这种改进的 TFRC 的有效性进行评估。设某工程包括固定网络和移动网络,通信的瓶颈就是无线介质。选择无线传输速率 2Mbps,网络接收者位于无线区域,模拟时间为 120s,连接的延迟定为 50ms,有线网络用 10M 网线连接,保持固定延迟。我们使用 OPNET^[10] 来对此仿真(发送端和接收端均有 N 个工作站,图略),网络模型如图 1。

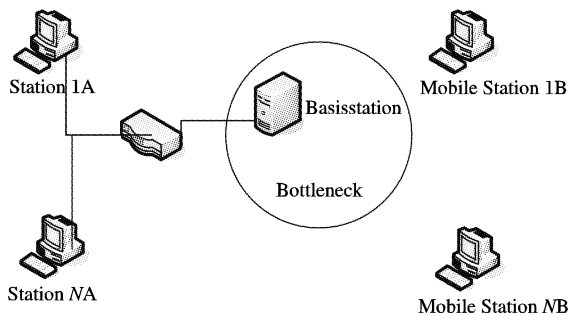


图1 网络结构

仿真结果采用改进前后对比方式,如下:

图2显示所有流各自的发送速率,在出现拥塞后,所有流速率都有大幅度的降低而且降低的速率很快,降至 20kbps ~ 30kbps 左右。

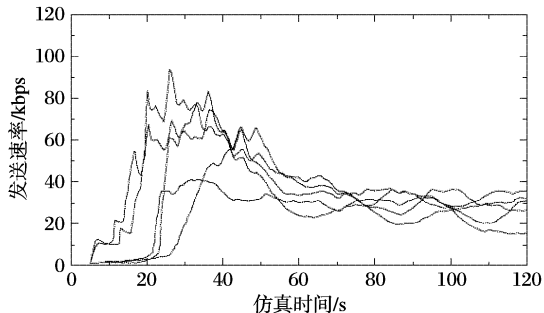


图2 不同应用的发送速率

图3中显示一携带小分组的语音流,可以很清楚地看到这条语音流的带宽非常低,因其他携带大分组的数据流占用了较多带宽。

图4显示改进后的 TFRC 机制下,携带小分组的语音流与其他流平分带宽,而且发送速率都比较稳定(与图2比较)。注意,参数 p 的选择要十分慎重(本实验 $p = 0.6$),否则达不到预期的效果。

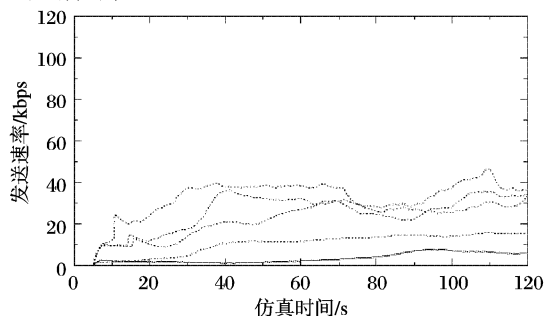


图3 带宽分布

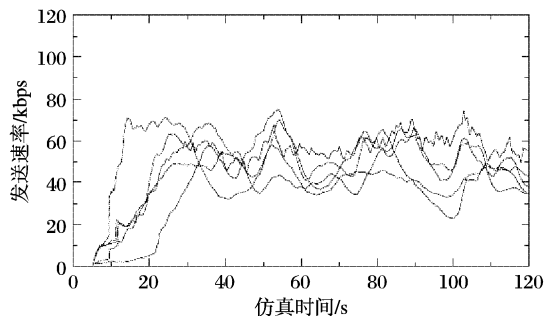


图4 不同应用的发送速率(改进后)

4 结语

本文采用改进的基于公式的 TCP 友好控制机制,仿真结果显示 UDP 小分组语音业务与其他业务共享带宽,并且发送速率趋于稳定,从而进一步保障了 VoIP 良好的端到端服务质量。

参考文献:

- [1] FLOYD S, HANDLEY M. TCP Friendly Rate Control (TFRC): Protocol Specification. IETF RFC 3448[S], 2003.
- [2] FURUYA H, NOMOTO S, YAMADA H, et al. Toward QoS management of VoIP: Experimental investigation of the relations between IP network performances and VoIP speech quality[J]. IEICE Transactions on Communications, 2004, E87-B(6): 1610 - 1622.
- [3] BOLOT JC, FOSSE - PARISIS S, TOWSLEY DF. Adaptive FEC - based error control for internet telephony[A]. Eighteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies[C], New York, NY1999, 3: 1453 - 1460.
- [4] BOUTREMANS C, BOUDEDEC JYL. Adaptive joint play out buffer and FEC adjustment for internet telephony[A]. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies[C], vol. 1, San-Francisco, CA, 2003: 652 - 662.
- [5] 单玉峰, 柴乔林. 基于优化前向纠错和 TCP 友好阻塞控制的实时音频传输策略研究[J]. 小型微型计算机系统, 2004, 25(3).
- [6] 陈潇, 周建国, 晏蒲柳. 支持流类型优先级处理的主动队列管理机制[J]. 计算机工程, 2005, 31(4).
- [7] WIDMER J, BOUTREMANS C, BOUDEDEC JYL. End-to-end congestion control for TCP-friendly flows with variable packet size[J]. SIGCOMM Comput. Commun. Rev., 2004, 34(2): 137 - 151.
- [8] WIDMER J, DENDA R, MAUVE M. A Survey on TCP-Friendly Congestion Control[J]. IEEE Network, 2001, 15(3): 28 - 37.
- [9] The TCP-Friendly website[EB/OL]. <http://www.psc.edu/networking/projects/tcpfriendly>.
- [10] 陈敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004. 2-34.
- [11] 王茜, 隆克平, 程时端, 张润彤. Internet 网络的 TCP 友好控制机制[J]. 计算机科学, 2002, 29(3).
- [12] Modeling the Effect of Short-term Rate Variations on TCP-Friendly Congestion Control Behavior[Z]. <http://web.cecs.pdx.edu>.