

企业级视频会议服务质量保证机制的研究

邓剑锋^{1,2}, 张凌¹, 周杰¹

(1. 华南理工大学 计算机科学与工程学院, 广东 广州 510006; 2. 广西师范大学 网络中心, 广西 桂林 510004)

摘要: 针对企业网络的情况, 提出了一种企业级视频会议系统的服务质量保证机制。该机制根据视频会议的传输模式, 将视频会议的保障转化成对一组具有时间尺度数据流的保障, 通过对网络中优先级带宽的管理来为数据流提供预约带宽, 在网络的边缘对每个优先级数据流进行认证、标记和整形, 在网络核心使用区分服务保障视频流的优先转发, 以实现预约带宽的合法使用。实验结果表明该机制能够在网络拥塞的情况下为媒体流提供所需的带宽, 能有效地保证视频会议的服务质量。

关键词: 企业级; 视频会议; QoS; 接纳控制

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2013)Z2-0184-07

Quality of service guarantee mechanism for enterprise video conference

DENG Jian-feng^{1,2}, ZHANG Ling¹, ZHOU Jie¹

(1. School of Computer Science & Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2. Network Centre, Guangxi Normal University, Guilin 510004, China)

Abstract: The QoS problem under the controlled enterprise network environment was addressed, and a novel QoS management mechanism for video conference at the enterprise level was proposed. This novel mechanism analyses the conference organization mode and transferring mode, and transforms the guarantee of video conference to the guarantee of a flow group with temporal information. This mechanism provides the bandwidth reservation through the management of network priority bandwidth. It authenticates labels and shapes the data flow at the edge of the network, and uses DiffServ to priority forward the media flow in the core network, and therefore guarantees the reservation of bandwidth for authorized users. Experimental results and analysis show that the proposed mechanism can provide the necessary bandwidth for the media flow when network congestion happens, and then can efficiently and effectively guarantee QoS for enterprise video conference.

Key words: enterprise; video conference; QoS; admission control

1 引言

视频会议能够为不同位置的多个用户提供双向实时音频和视频传输业务, 是一种远距离面对面般的交流手段。由于其免除了人们实际旅程中的人力物力成本, 许多政府机构、企业和教育机构都将视频会议作为一个重要的提高其效率和生产力的工具。研究表明^[1], 预计到 2016 年, 互联网上 86%的

流量将会是视频流量, 而视频会议是 IP 视频的重要组成部分。

传统的视频会议是在专网的基础上构建的会议系统, 由于专网的高价格和应用范围窄, 难以满足用户快速响应和随时随地交流的需求。随着网络基础带宽的改善以及视频编码效率的提高, 以互联网为媒介的视频会议系统得到迅速发展。新一代互联网视频会议^[2]的特点是高清晰度、多种交互方式、

收稿日期: 2013-09-06

基金项目: 下一代互联网大规模高清视频会议系统应用示范基金资助项目(CNGI2008-118)

Foundation Item: The Fund of Large-Scale High Definition Video Conference System Application Demonstration of China Next Generation Internet (CNGI2008-118)

分布式多点视频、高可靠性；具有丰富的数据协作、会议管理和控制功能。这些特性对传输网络的可达性、带宽、延时、抖动等多方面的服务质量保障能力提出了较高的要求。

现有互联网采用尽力而为的转发方式，不能控制数据分组的传输过程，无法保证数据分组的传输质量。在不可控的 Internet 上，研究者对视频会议服务质量做了很多相关的努力，采用了容错^[3]、应用层多播^[4]、P2P 传输等技术^[5]，由于网络的带宽和延时抖动等参数无法得到满足，这些方案都无法投入实际的使用。

下一代互联网采用 IPv6 作为传输协议，与 IPv4 协议相比，IPv6 协议具有一些新的特性，支持源地址认证架构(SAVA)^[6]；在头部新引入了流标签(flow label)域，这些特性使得下一代互联网可以更好地支持 QoS 服务，以满足视频会议对网络时延、带宽和抖动等服务质量的严格要求。本文在 CNGI-CERNET2^[7]网络环境下，提出了基于 SAVI 结构的新一代视频会议服务质量保证机制，在可控的域内对网络资源进行管理，在网络边界进行接纳控制，在网络核心使用区分服务保证聚集流的服务质量，经过实验验证，该机制能够有效保证视频会议的服务质量。

2 相关工作

对视频会议的服务质量进行保证有 2 类方式，第一类方式是在网络传输能力下降时，被动地采用缓冲、容错、降低码率等方式保证视频的质量；第二类方式是主动对传输网络资源进行调度，以保证对视频流的传输，这类方法主要有区分服务、综合服务、准入控制、P2P 技术等。

现有的视频会议系统一般采用多种机制来保证会议的运行，Cisco 网真系统^[9] (TelePresence) 主要采用主动的 QoS，在会议开始前，需要向传输网络提出带宽、延时、抖动和分组丢失的要求，网络满足这些要求后网真系统才能开始运行。Polycom 的视频会议系统在网络层采用向承载网提出服务质量要求的方式进行服务质量保证，在应用层使用动态抖动缓冲、动态带宽协商 (DBA)、视频错误隐藏 (PVEC) 等技术来实现 QoS 保证。

为了以主动的方式对传输流的服务质量进行保证，QoS 系统通常需要对网络资源进行管理。IETF 的 RFC1633^[10]提出了综合服务框架 (InterServ)，

其主要思想是资源预留，网络上的路由器需要对每个流进行管理，这严重地影响了其扩展性。针对 InterServ 的问题，IETF 在 RFC2475^[11]中提出了区分服务体系 (DiffServ)，其实现思想是分级转发，核心网路由器对根据聚集流的特性进行不同优先级的转发，DiffServ 有效地解决了扩展性问题，但是未能很好解决对单个流的识别和控制问题。

ITU-T 的 Study Group 13 开展有关下一代网络 (NGN) 标准的制定，其中的 Question 4 是 QoS 的相关工作，该工作组制定了一系列的规范。Y.2111^[12]是这一系列规范的核心，定义了 NGN 的 QoS 的框架，其结构图如图 1 所示，框架中资源和接纳控制功能 (RACF, resource and admission control functions) 实施资源的管理；用户终端设备 (CPE, customer premises equipment) 是位于用户驻地的接入点且与通信通道相连的设施；传输功能 (transport function) 负责传输数据；网络接入控制功能 (NACF, network attachment control function) 用于检查如网络接入的注册、认证和授权、参数的配置等信息，并与 RACF 交互。其核心思想是通过 RACF 对资源进行管理，CPE 在边界对用户进行管理，目前其中一些重要的规范，例如接纳控制算法还在制定中。

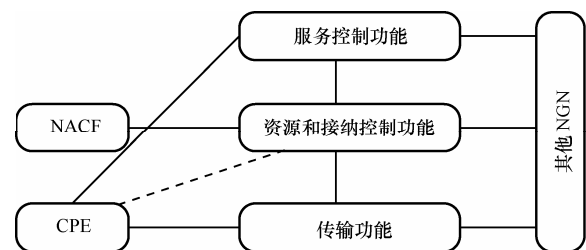


图 1 ITU 的 QoS 框架

这些方法试图在互联网上为应用程序提供服务质量保障，但是由于互联网的复杂性使得其无法有效部署。另一方面视频会议是一种组应用，组成员散布于网络，视频会议系统对网络资源的需求根据会议的传输模式、会议类型等参数的变化而改变；如果只是简单地将通用程序 QoS 保障方法应用于视频会议的保证中，其效果会非常有限。本文针对企业级网络环境中的视频会议保障问题，提出了一个 QoS 保障机制。

3 视频会议服务质量保证机制

IETF 成立了 XCON 工作组，制定了一个多媒体会议框架—XCON 会议框架^[13]，提出了一个具体

的会议数据模型和一系列的会议逻辑实体通信协议，该模型使用 Focus 作为会议中心节点，每个与会者通过 SIP 对话与 Focus 建立连接，同时通过 SIP 事件订阅机制获取会议状态。华南理工大学广东省计算机网络重点实验室参考 XCON 会议框架设计了新一代视频会议系统 CoolView 2.0, CoolView 2.0 采用了 SIP 协议作为信令交互协议，使用紧耦合的会议模型，建立了一个 Focus 作为会议的中心，所有信令集中管理，而媒体传输采用了分布式的分发机制，媒体流直接发送到会议终端，在终端处进行处理，这增加了会议的稳定性和扩展性。

本文在 CoolView 的基础上提出了一个企业级视频会议的服务质量保证机制。该机制要求在企业网范围内能够对网络进行管理，对视频会议的会议业务提供服务质量保证。

视频会议是一组用户之间的交互应用，具有多用户、多种传输模型、多级别、多种信息流等特性。会议的参与者根据不同的会议特性，其对网络的需求是不同的。从传输层面来看视频会议就是一些视频流的集合，每个数据流有流本身的特性，包括流的起始终结点、保证级别、QoS 参数需求以及数据流的组织方式，数据流的组织方式跟视频会议的类型有紧密联系，可以有分布式单播、分布式多播等方式。QoS 保障系统提供一个组级别的服务保障，

这里组代表一组用户以及相应的资源需求，包括参与者、会议模式和传输模式。QoS 系统将这些需求转换成一系列的流量需求。QoS 保障系统在网络的边界对流量认证、标记和整形，这里使用 SAVI 来认证数据流；在网络的核心，使用区分服务来保障边界发送过来的数据流，使用 IPv6 的流标签和 DSCP 值标识每个聚集流，提供不同级别的传输优先级，最后实现视频会议的 QoS。

QoS 系统的结构如图 2 所示，由 3 层组成：传输层 (transfer layer)、QoS 管理层 (QoS management layer) 和视频会议层 (video conference layer)。传输层承担所有数据流的认证、标记、整形和优先传输。在传输层之上是 QoS 管理层，收集网络管理信息，接受会议的请求，执行接纳控制，保障视频流的服务质量。视频会议层位于 QoS 管理层之上。

在 QoS 管理系统 (QoS management system) 中，解析器用于解析视频会议的资源申请，申请中包括会议成员列表、会议模式、传输模式、开始结束时间等信息。解析模块将会议请求转换成网络资源请求，以便进行资源保障。

系统需要收集网络的拓扑、带宽使用率等网络状态信息，以及视频会议的组织信息，所有的信息被存储在资源矩阵 (resource matrix) 中，网络监视模块实时监视网络的拓扑和路由，一旦网络拓扑发

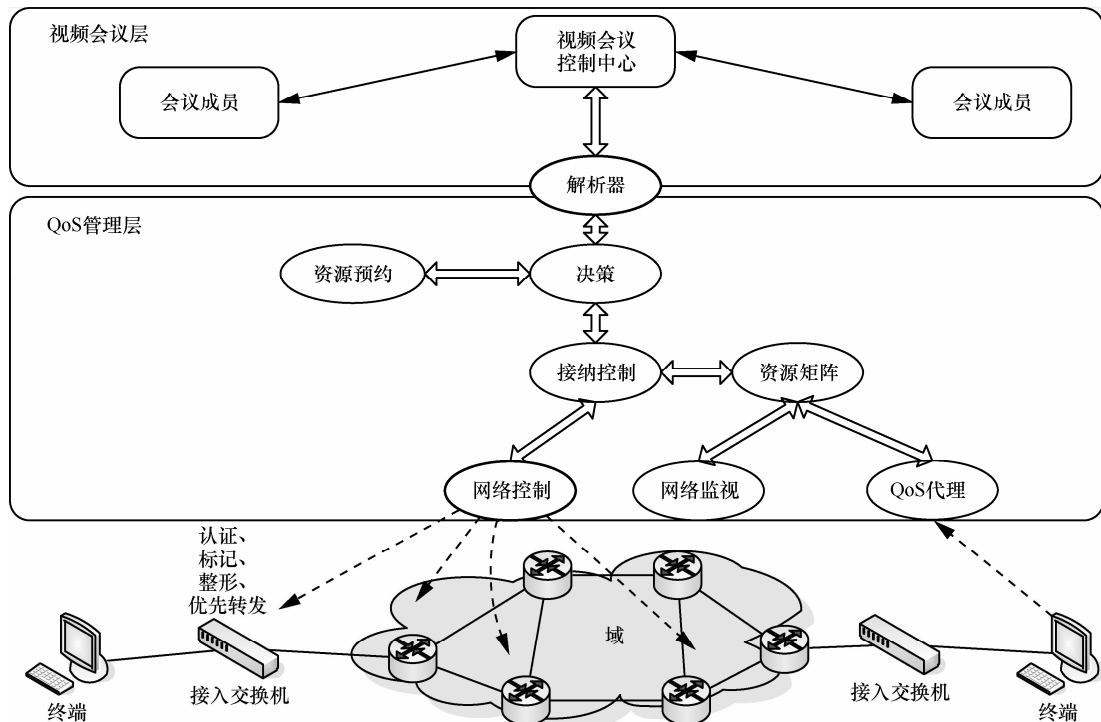


图 2 企业级视频会议服务质量保证系统框架结构

送变化，将马上通知资源矩阵，系统还需要监视每条链路的带宽使用、延时、抖动。会议控制中心在申请资源时将会议信息发送给 QoS 管理系统。

决策模块 (policy decision) 根据管理策略来决定是否允许一个用户的资源申请；接纳控制模块 (admission control) 从网络资源的角度来判断系统能否满足用户所需要的资源，这里使用基于参数的接纳控制算法。一个用户的资源申请如果得到决策模块和接纳控制模块的许可，就可以对其进行资源分配和预约，分配和预约过程首先在资源矩阵中修改相应数值，然后通过网络控制模块来实施。

时间预约模块提供时间触发服务，当一个事先设置的使用某一资源的时间事件到达时，时间预约模块触发决策模块，并实施资源分配。

QoS 代理位于视频会议终端，当视频会议运行时收集该终端的各种 QoS 参数，并发送到决策模块，决策模块根据这些参数调整资源分配。

4 服务质量保证机制的实现

企业级视频会议服务质量保证机制的实现主要包括数据流的管理、资源的管理和模块间交互协议。

4.1 基于 SAVI 的区分服务

用户与用户 IP 的映射、数据分组 DSCP 值与优先级的映射是控制层的 2 个重要内容。用户数据流代表着用户的需求，系统对用户数据流使用 IP 进行区分，用户在加入视频会议时，需要用 IP 地址和 SIP 账号注册；在 SAVI 结构下，能够防止 IP 仿冒，并将固定在接入交换机的某个端口上，因此对 IP 和 SIP 账号进行绑定就可以将用户映射到一个 IP，对用户流的控制就转化为对应 IP 流的控制。

接入交换机位于网络的边缘，对进入的 IP 流认证、标记、整形。接入交换机的操作根据 QoS 管理系统的指令来执行，指令包括源 IP 地址、预留带宽、DSCP 值。接入交换机对指定 DSCP 值的数据流预留资源和优先转发。对数据流的控制机制如图 3 所示。

4.2 资源的管理

资源的管理主要通过资源矩阵来实现，资源矩阵需要收集和组织网络中各种资源的状态，同时接受网络资源的申请和控制网络设备的资源分配。

4.2.1 会议的描述

从传输层面来看，会议就是一组媒体流的集合，可以将视频会议流类型分成 3 类：单个流、单播群组流、多播群组流。单播单个流就是一条

基本的数据流，可以用优先级别、开始时间、结束时间、起始点、终结点、带宽等参数进行描述。单播群组流根据会议的不同类型，可以将其分解为多条单播数据流。多播视频会议中，每个发送视频的参与者建立一棵多播树连接视频的接收者。当一个新的参与者加入会议时，需要建立一个多播树，将自己设置为根，通过多播树发送视频给接收者。如果一个接收者需要接收其他参与者的视频，则需要加入对应发送者的多播树。系统需要记录所有的多播树信息。

4.2.2 资源的描述

资源矩阵用来存储网络资源的状态。在记录中每个物理链路被分成双向的逻辑链路，每个逻辑链路用 4 个带宽测度和 1 个时间测度表示。

类似于 Qbone^[14]，QoS 管理系统对逻辑链路各种带宽进行了定义。链路带宽 (link bandwidth) 定义为链路的总带宽，物理上能提供的最大容量，单位是 bit/s；承诺带宽 (committed bandwidth) 是能够提供给优先级服务的最大带宽，这个带宽的使用能够被 QoS 管理系统控制；预留带宽 (reserved bandwidth) 是当前为优先级服务所预留的带宽；实际负载 (current priority load) 是链路上优先级数据流的实际使用带宽。所有的带宽都有一个时间范围，一个资源单位必须有一个开始时间和一个结束时间。

4.2.3 资源分配

QoS 管理系统接收用户的请求，根据资源分配策略和资源现状为用户分配资源。系统实现要完成的操作是针对不同用户的网络资源查询、预约、分类、分配、撤销，需要涉及到的算法有：域内路径计算、带宽资源预约和撤销算法、DSCP 值的分配、特征带宽的计算、资源重分配算法。

一个 QoS 请求包括会议类型、传输模式、源 IP 地址列表、目的 IP 地址列表和资源需求等信息。当接收到一个请求时，QoS 管理系统首先将请求分解为一系列的单播或多播数据流，计算每条数据流所经过的路径，然后依次在每个链路上预留资源。计算路径是根据源 IP 地址和目的 IP 地址查询其所在的子网，然后根据路由信息计算数据流所经过的路径，得到路径所经过的链路。QoS 管理系统在数据流经过的链路上依次预留资源，如果在某条链路上的资源预留失败，那么该数据流已经预留资源的所有链路都需要撤销，如果路径上所有链路都预留资

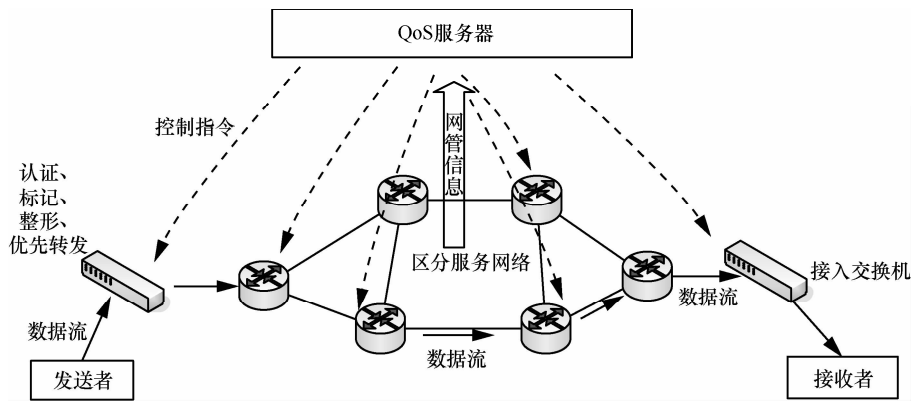


图 3 控制层数据转发示意

源成功，那么为数据流预留资源就完成了。

对于单播数据流，路径的计算仅仅需要路由信息，从源节点开始，逐跳查询链路。对于多播，本文主要关注多播的稠密模式，系统需要监视网络中会议参与者建立的多播树，根据多播树来计算数据流所经过路径，从而获取所经过的链路列表。当一个新的终端加入一个多播组时，需要将多播树扩展到该终端所在位置，并计算需要增加的链路。

DSCP 值的分配是根据用户需求的优先级分配不同的 DSCP 值，这个本文参照 RFC2497 和 RFC3246 来分配 DSCP 值。

4.2.4 资源预约的实现

资源分配由虚拟和实现 2 个阶段组成。虚拟阶段资源分配仅在资源矩阵中进行，仅修改资源矩阵

中的对应元素的数值。在实现阶段，资源矩阵中的数值被同步到网络设备中，系统发送指令给接入交换机，让交换机对数据流进行控制；同时系统也发送指令给核心路由器来调节优先级带宽。

4.3 资源的申请流程

视频会议终端申请资源的过程就是申请一条或者多条网络链路，并获得 QoS 服务器对所申请链路 QoS 参数保证的过程，图 4 为一条链路的申请过程。

首先视频会议终端向视频会议服务器发起视频申请①，视频会议服务器从会议角度对其进行决策，决定是否允许申请该视频，如果允许的话，视频服务器将向 QoS 服务器发起网络资源申请②；QoS 决定是否允许，如果许可，则将网络设备控制指令发送给网管系统③；网管系统向对应

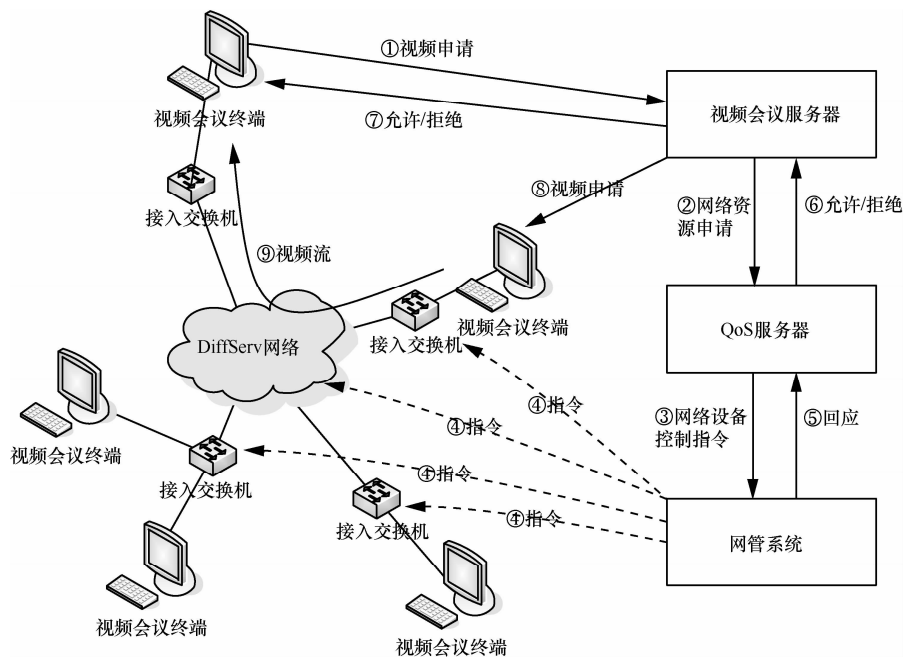


图 4 资源申请过程

网络设备发送指令④，然后依次返回请求结果⑤、⑥、⑦；然后视频会议服务器发送视频申请给视频会议源终端⑧；最后，源终端向视频申请者发送视频流⑨。

除了资源申请，还有资源取消、群组资源申请等操作。由于对网络的控制延时会比较长，而且操作会比较复杂，系统采用核心资源事先预留、接入交换机实时控制等策略来减少对网络设备的操作，对于核心路由设备，为优先数据流预设一些预留带宽，这个带宽大于目前使用的优先级带宽，当一个新的请求到达时，如果申请的优先级带宽小于预设带宽，那么核心路由设备就可以保障新加入的数据流而不进行任何实际的重配置操作，这能够减少资源预约时间。

5 服务质量保证机制的验证

本文建立了一个 QoS 管理系统的原型，图 5 是部署在华南理工大学校园网的系统原型拓扑结构图。

QoS 管理系统的很多模块都位于 QoS 服务器中，网络监视和控制模块位于网络管理服务器中，还有一系列的基础服务器，例如 SIP 服务器、数据库服务器等。视频会议终端散布于网络中。

5.1 QoS 的功能评估

测试方案的目的是，测试视频会议终端在链

路上发生拥塞的情况下，其网络服务质量能否得到保证。

2 个视频会议终端分别选取 scut_t13 和 scut_t14，在网络中设置一台干扰机向 scut_t13 以 100 Mbit/s 的速率发送干扰数据试图抢占带宽。在视频会议开始时，会议终端会向会议控制服务器发送加入会议和所需要资源的请求，会议控制服务器将资源申请转发给 QoS 管理系统，QoS 管理系统为该视频流预留网络资源。实验中，用户每次申请的保障带宽是不同的，依次为 8 192 kbit/s、4 096 kbit/s、2 048 kbit/s、1 024 kbit/s、512 kbit/s 及 256 kbit/s。表 1 为不同保障带宽情况下视频流传输情况。

表 1 显示了在拥塞链路中，一个视频流在不同保障带宽情况下传输的分组丢失率，当保障带宽小于视频流所需要的带宽时，视频流就会发生分组丢失的情况，保障带宽越小，分组丢失率越趋于尽力而为（best effort）数据流的分组丢失率，特别是当保障带宽为 0 时，即网络将视频流以尽力而为方式转发时，其分组丢失率为 69.53%。当预约带宽大于视频流的大小时，分组丢失率为 0。当预约带宽仅仅比视频流略小，即 1 024 kbit/s，分组丢失率达到了 24.74%，这说明在保障视频流的运行时，保障带宽需要略微大于视频流的大小。

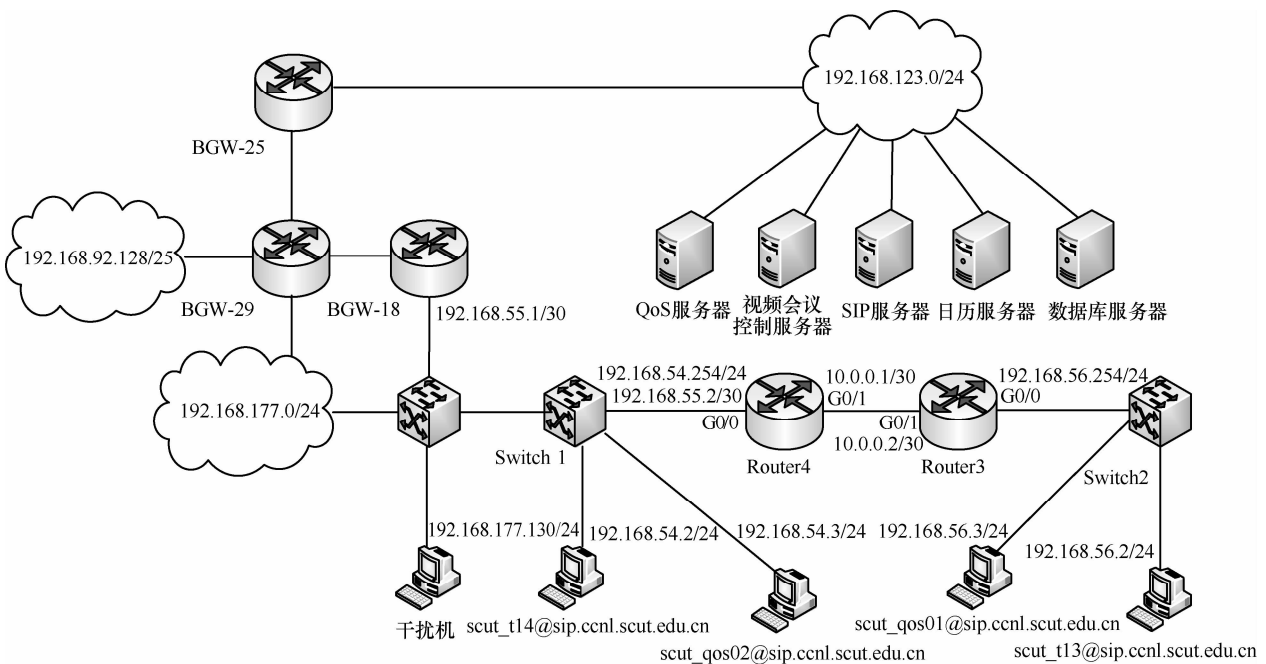


图 5 测试环境网络拓扑

表 1 视频流在不同保障情况下的分组丢失率

预留带宽/(bit·s ⁻¹)	视频流速率/(bit·s ⁻¹)	分组丢失率/%
0	452.93	69.53
256	645.17	57.59
512	803.89	47.04
1 024	1 156.85	24.74
2 048	1 532.84	0
4 096	1 536.93	0
8 192	1 541.86	0

实验结果显示,提出的 QoS 系统在网络拥塞的时候能够有效地保障视频会议的运行。

5.2 性能分析

QoS 管理系统接收资源申请时,其反应时间包括两部分,第一部分是虚拟预约过程,第二部分是虚拟资源与实际网络同步的时间。虚拟预约过程运行于资源矩阵中,执行路径查找(单播和多播)和带宽预留。对于路径查找的时间复杂度有 2 个因素影响:拓扑结构和网络大小。假设网络中有 N 个节点,最坏的可能是所有的节点都排列在一条直线上,每个节点有 M 个子网,那么一共有 NM 条域内路由,这样其查找路径的时间复杂度为 $O(NM)$ 。对于反应时间的第二部分,同步操作是可以并行的,所以仅仅需要一次命令的同步时间,即其时间复杂性为 $O(1)$ 。

6 结束语

本文在企业级网络的环境中提出了一种新的 QoS 管理机制来保障视频会议的服务质量。该系统基于 DiffServ 和 SAVI 结构,为视频会议提供资源预留来进行服务质量保障。实验结果和分析显示,该系统能够在企业级网络中有效地保障视频会议的服务质量。

参考文献:

[1] CISCO, Cisco visual networking index: forecast and methodology 2011-2016[EB/OL]. <http://www.cisco.com>, 2012.

[2] 叶昭,张凌,袁华. 视频会议业务扩展性研究[A]. CERNET 第十六届学术年会论文集[C]. 天津,中国,2009.132-138.
YE Z, ZHANG L, YUAN H. The research of video conference scalability[A]. The 16th CERNET Annual Conference[C]. Tianjin, China, 2009.132-138.

[3] WANG Y, LIN S. Error-resilient video coding using multiple description motion compensation[J]. Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, 2002,12(6):438-452.

[4] LIU J, LI B, ZHANG Y Q. Adaptive video multicast over the Internet[J]. Multimedia, IEEE, 2003,10(1):22-33.

[5] HEFEEDA M, HABIB A, BOTEV B. PROMISE: peer-to-peer media streaming using CollectCast[A]. Proceedings of the Eleventh ACM International Conference on Multimedia[C]. California, USA, 2003. 45-54.

[6] 吴建平,任罡,李星. 构建基于真实 IPv6 源地址验证体系结构的下一代互联网[J]. 中国科学, 2008, 38(10):1583-1593.
WU J P, REN G, LI X. Construct next generation Internet based on real IPv6 source address validate[J]. Science In China, 2008,38(10): 1583-1593.

[7] WU J P, WANG J H, YANG J. CNGI-CERNET2: an IPv6 deployment in China[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2011, 41(2):48-52.

[8] CISCO. Cisco TelePresence Network Systems 2.0 Design Guide, chapter4. Quality of Service Design for Telepresence[R].2009.

[9] Polycom. Application based quality of service for IP video conferencing[EB/OL]. www.polycom.com, 2002.

[10] BLACK S, CARLSON D, DAVIES M. An architecture for differentiated services[EB/OL]. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2475.txt>, 1998.

[11] REC I Y. 2111: Resource and Admission Control Functions in Next Generation Networks (Release 2)[S]. NGN-GSI/DOC-301, 2007.

[12] BARNES M, BOULTON C, LEVIN O. A framework for centralized conferencing[EB/OL]. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5239.txt>, 2008.

[13] TEITELBAUM B. QBone architecture (v1.0)[EB/OL]. <http://qos.internet2.edu/wg/documents-informational/draft-i2-qbone-arch-1.0/>,1999.

作者简介:



邓剑锋(1976-),男,广西桂林人,华南理工大学博士生,主要研究方向为计算机网络系统管理与网络安全、服务质量保障等。



张凌(1962-),男,江西宜春人,华南理工大学教授、博士生导师,主要研究方向为计算机网络系统管理与网络安全、下一代高性能计算机网络、计算机海量信息处理与电子商务技术等。



周杰(1964-),男,吉林双辽人,华南理工大学教授,主要研究方向为计算机网络、网络安全、高性能计算机网络技术等。