

VoIP 服务质量管理机制及原型系统

陈秀忠 王春峰 黄晓璐

(中国科学院计算技术研究所 北京100080)

QoS Management Mechanisms and Prototype System of VoIP

CHEN Xiu-Zhong WANG Chun-Feng HUANG Xiao-Lu

(Institute of Computing Technology China Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract In this paper, we briefly introduce the architecture of VoIP application at the beginning. Then we focus on discussing QoS management mechanisms in data plane and control plane in detail. We explore the implementation of QoS management system by describing the prototype system QNet. At last, we discuss their future trends and present several issues remained to be studied by combining the experiences of our research.

Keywords Quality of service, Packet forwarding, Delay computing, Call admission control

1. 引言

VoIP (Voice-over-IP) 是指应用 IP 技术传输语音包、实现相关服务管理与控制的工具或协议的集合。由于 VoIP 的技术优势和成本优势,VoIP 是目前增长最快的通讯技术之一。但它还存在一些技术问题亟待进一步研究解决,如目前还没有 VoIP 的质量控制标准。

受技术缺陷和市场竞争的影响^[1],VoIP 的服务质量保证问题已成为研究核心之一。VoIP 应用的质量要求包括包丢失、包延迟和延迟抖动。譬如,ITU G. 114^[2]提出单向延迟在 0-150ms 是可接受的延迟范围。IP 服务是尽力而为型的,缺乏严格的服务质量(QoS: Quality of Service)控制。网络拥塞在 IP 网络中是不可避免的,进而可能导致包丢失、过大的延迟和延迟抖动。另外,VoIP 作为通讯技术,市场竞争必然要求网络能够为不同的用户或 VoIP 应用提供不同级别 QoS 要求的服务,实现区分服务。

在当前的 IP 网络架构上实现服务质量可保证的 VoIP 应用,必须依赖一些 QoS 管理机制。本文首先简要介绍 VoIP 的标准架构,然后从数据层面和控制层面讨论了 VoIP 的 QoS 管理架构,并详细讨论了具体的 QoS 管理机制:包的转发控制和接纳控制;再结合 QNet 原型系统的实现,探讨了 QoS 管理系统的实现问题;最后讨论该领域有待进一步研究或解决的一些问题。

2. VoIP 标准架构

当前 VoIP 的实现存在两种基本架构,分别是基于 H. 323^[3]和 SIP^[4]。H. 323 是 ITU-T 制定的标准,是在包交换网络上实现语音、视频和数据会议的协议集;而 SIP 是 IETF 的 MMUSIC 工作组制定的标准,是应用层控制信令协议,为一个或多个会话方创建、更新和终结会话。尽管它们之间存在不同,两种实现的基础架构还是相同的,都可以被模型化由 3 个主要逻辑组件构成:终端、信令服务器和网关。它们分别实现语音编码、传输协议、控制信令、网关控制和呼叫管理等功能。终端是用户端设备,实现音频采集和编码,以及输入和输

出处理。信令服务器的功能是集中管理和控制语音服务,包括地址翻译、会话的接纳和访问控制、带宽管理、呼叫路由能力。网关提供数据格式的转译、控制信令的转译、音频和视频编码的转译、不同网络间呼叫建立和终结的功能。

当前 H. 323 和 SIP 标准主要定义了与会话业务操作相关的协议,但不包括基本的 QoS 管理功能,仅定义了部分 QoS 管理接口,如 H. 323 和 RSVP 间的接口^[5]。因此,要实现 VoIP 的 QoS 控制,必须依赖于额外的 QoS 管理控制机制。

3. QoS 管理机制

3.1 QoS 架构

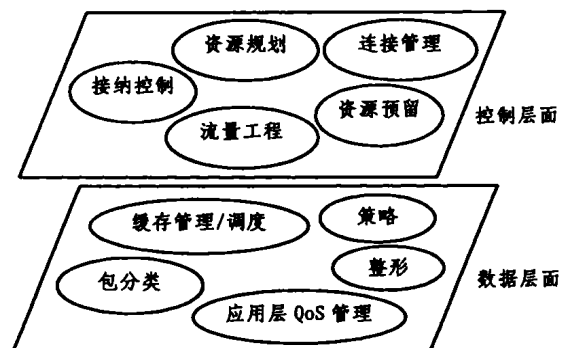


图1 QoS 管理机制

VoIP 的 QoS 管理机制是要针对 VoIP 应用的 QoS 要求(即包丢失、包延迟和延迟抖动),结合 VoIP 应用的实现架构,控制语音包的传输质量、提高用户的语音质量、提供多等级的服务,并实现网络资源的合理利用。针对 VoIP 的服务质量保证问题,在企业和大学实验室里已有一些解决方案或原型系统被开发出来。综合分析各种机制,VoIP 的 QoS 管理架构可以分为两层面:数据层面和控制层面(图1)。数据层面的机制包括包转发控制(含包分类、整形、策略、缓存管理、调度)、应用层 QoS 管理(含适应性机制^[6]、丢包恢复和包错误掩盖^[7])等。它们对用户数据包的传输进行控制,实现不同级别的服务。控制层面的机制^[1,6-7]包括资源规划、流量工程、接

陈秀忠 博士生,主要研究方向为服务质量保证机制。

纳控制、资源保留和连接管理等。它们允许用户或网络实施服务等级协议^[10],适当地分配网络资源,以确保被接纳呼叫的服务质量。

所有数据层面和控制层面的 QoS 管理机制共同协作为 VoIP 语音服务提供质量保证。在配置阶段,控制层面的资源规划可以为语音业务配置资源。在运行阶段,新的呼叫到达时,控制层面的接纳控制机制将根据资源规划的分配量和当前资源的利用状况,决定新呼叫的接纳与否;相应的资源既可以做预留,又可以采用 RSVP 的显式预留。一旦呼叫被允许接纳,终端主机开始发送语音包,数据层面的 QoS 机制将

被调用,完成语音流的控制功能,如业务流分类、整形、缓冲区管理、调度和错误控制等。

包转发控制和接纳控制是在系统运行中为 VoIP 业务提供质量保证,是服务质量保证的执行人,是 QoS 管理系统的关键。而其它机制是在离线状态下配置资源,如资源规划、流量工程;或者是提高 VoIP 应用的适应能力和容错能力,如应用层的适应性机制、丢包恢复和包错误掩盖;或者是考虑 QoS 管理系统的实现效率,如连接管理。以下着重讨论包转发控制和接纳控制机制。

3.2 包转发

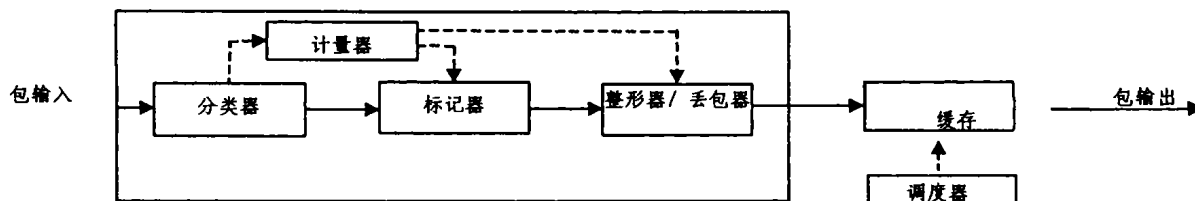


图2 基本包转发操作

集成服务以及 QoS 控制,要求网络能够区分不同的业务流,并分别提供质量可确保的包转发服务,包括包丢失控制、可预测的延迟控制和带宽共享。图2是路由器中信息包基本转发操作过程^[6,11]。当信息包到达时,包分类器决定信息包所归属的类,对包进行分类或重分类。之后,调节器(计数器、标记器、整形器和丢包器)测定业务流是否符合业务流量规格(traffic profile),由整形器和丢包器确保它符合规格;并将标记包的类型,标识不同的处理要求。缓存储存经调节器处理的信息包,缓存管理通过丢弃或标记包来控制包队列的长度。调度策略将决定如何从缓存中选择信息包传输到输出链路上,控制链路带宽在不同业务流间的共享以及包排队延迟。

业务流的区分是由分类器依据分类规则而实现的,每条规则^[11]的基本判定标准包括:IP 地址、TCP/UDP 端口、协议、输入接口、IP 优先级、区分服务码字(DSCP: Differential Service Code Point)^[2,11]或以网 802.1p 的服务类别(CoS: Class of Service)。Cisco 产品还支持其它标准,如访问控制列表和流量规格^[12]。包分类器的性能好坏主要体现在规则搜索匹配速度、存储要求、规则的配置管理和规则定义方式^[13]。包分类分为网络边缘分类和网络核心分类,前者一般是根据包头中多个字段进行分类;后者则是基于一个字段、采用位模式分类。分类常常是在网络边缘,实现基于流的聚合;从而保持网络核心的简单,提高系统的可扩展性和转发性能。另外,VoIP 应用或用户对语音包进行预分类(即预先标记语音包的特定字段)可以减轻网络设备的分类负载。

缓存管理通过控制和避免网络拥塞来控制包丢失^[5,6]。缓存大小是有限制的,不同的缓存管理方法决定何时、如何丢弃包,其性能的好坏在于拥塞期间控制业务流的公平性和有效性。当前队列管理主要有随机早期探测(RED: Random Early Detection)^[14]、公平随机早期探测(FRED: Fair RED)^[5,6,15]和 RIO^[6,16]。

调度策略的主要目标是通过控制缓存中信息包的输出次序,控制包排队延迟(包的端到端延迟包括应用处理延迟、传播延迟、传输延迟、排队延迟,其中仅包排队延迟是可变的)和带宽共享^[6]。理想的调度器应能提供可预测的队列延迟和带宽共享给相应的业务流。常用调度^[6,19]有先到先服务(FCFS: First Come First Serve),静态优先级(Static Priority),加权

公平队列(WFQ: Weighted Fair Queuing),EDF (Earliest Deadline First)等。一般说,所有路由器都支持 FCFS。现在多数设备能够支持 WFQ 和基于类的加权公平队列(CBWFQ: Class-Based WFQ)。Cisco 产品还可支持 Custom Queuing, Priority Queuing, Priority Queuing WFQ, Low Latency Queue^[12]。调度策略还直接影响 QoS 保证的实现,尤其是接纳控制的延迟计算方法。依据不同调度算法和流量描述^[1],已有 Chang^[17]和 Cruz^[18,19]等提出的算法可计算排队延迟、缓存要求等性能指标。

缓存管理和调度机制是紧密相关的,不同的实现会表现不同的性能,并影响控制层面的实现。不同机制的应用与选择是简单性和性能要求间的平衡。理论上,基于每个流的缓存管理和调度,可以保证缓存的公平分配,实现可预测的队列延迟和带宽共享。但要求保留每个流的状态,其开销将随着所处理的流数量增加而增长。它们可能不能有效地工作于高速链路之上。基于类的方式(如 Static Priority 和 CBWFQ)可以保持简单而可扩展,调度开销与所处理业务流的数量无关;但缺点是很难为各个业务流提供可预测的延迟和带宽共享。对于有严格延迟要求的语音应用,应用类调度器应慎重选择,并需要控制层面的机制(如接纳控制)来保证 VoIP 应用的 QoS 要求。

3.3 接纳控制

传统电话通过呼叫接纳控制机制控制用户的接入,而 IP 网络本身并没有此类机制。为了保证 IP 网络的稳定性和业务的正常运作,通常是在资源提供或规划时采用过度提供(over-provision)^[20]方法,即为应用配置总量大于用户需求的网络资源,杜绝出现网络过载状态。显然,这是最简单的方法,但要求网络资源充足,代价也最大。另外,随实时业务的增长,其网络流量的时变特征和突发性将使此方法效率低下,甚至失效。VoIP 接纳控制机制的引入,是提高资源利用率、保证网络稳定性和业务正常运作的必然途径。

接纳控制是采用特定控制算法,综合分析当前网络状态(包括已接纳的业务流信息)、新进业务流的资源需求,判定当前网络可用资源是否满足新进业务流的 QoS 需求,并作出接纳决定。图3是接纳控制的结构框图,主要模块包括接纳准则、网络 QoS 状态和业务流信息及接纳控制单元。接纳准则则是接

纳控制算法用以接受或拒绝实时业务流请求的准则;网络 QoS 状态和业务流信息通过一系列参数描述其实时状态,这些参数是与接纳准则紧密相关的;接纳控制单元将根据接纳控制准则、网络 QoS 状态和业务流信息对到达的请求作出接纳决定。接纳控制算法是该机制的核心,可分为两类:基于参数的接纳控制算法和基于测量的接纳控制算法^[1]。

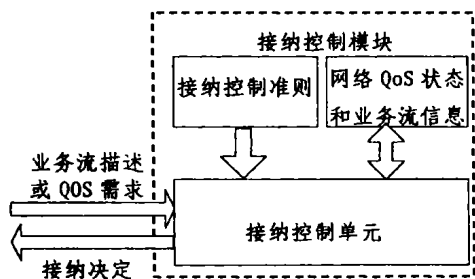


图3 接纳控制的结构框图

基于参数的接纳控制是利用已接受的和新进实时业务流的流量描述信息,以及网络资源状况,应用分解或综合分析的方法,计算最坏情况下的理论性能(延迟、缓存大小、包丢失率等),并据此作出接纳决定。它可以提供确定的服务质量保证,主要计算理论由 Chang^[17]、Cruz^[18,19]等提出。目前已经有一些应用于 VoIP 的基于参数的接纳控制算法,如 Cisco 基于区域的算法^[21]、NeTex 基于最大速率函数的算法^[22]、UBAC 基于利用率的算法^[23]等。该类算法要求能精确描述 VoIP 应用的流量特征,业务流描述的精确度和算法的准确度,直接决定该机制的效率;但最坏情况的延迟分析、计算方法可能导致较低的网络利用率。

基于测量的接纳控制是通过对现有网络负载或状态的测量,判定新业务流的 QoS 保证程度,决定接纳与否。该类机制包括两部分:网络测量和使用估计的网络负载进行接纳控制。网络测量用于估计当前的网络负载,要求能准确反映网络的资源利用或拥塞状况;测量方法或协议的实现是关键。目前已有 Cisco 基于测量的呼叫接纳控制算法^[21]和 Chuah 基于流量矩阵的接纳控制算法(TMAC)^[24]。该类算法不能为 VoIP 应用提供确定性延迟保证,只能提供软服务质量保证。测量周期的长短直接影响测量结果的精确度,精确度越高,要求测量的周期越短,测量的代价(测量数据包向网络注入了额外的流量)也越大。

不同的接纳机制有不同的实现复杂度和服务质量保证程度,具体机制的应用与选择需要综合考虑网络拓扑结构、用户的服务等级协议、应用需求和特征等因素,并权衡系统性能和实现代价。

4. 原型系统

VoIP 的服务质量保证,依赖于不同控制机制间的协作。控制系统的具体实现受 VoIP 应用的流量特征、网络的配置特点(包括包分类、缓存和调度策略)、应用的 QoS 要求或服务等级协议,以及应用端的丢包和延迟抖动的适应能力等因素的影响。好的控制系统应具有有效性、高效性和良好可扩展性的特征。有效性是指在保证服务质量的前提下,将尽可能地最大化网络带宽利用率。高效性是指系统在实际运行期间的负载应小,系统本身不能影响实时应用。可扩展性则是系统对实时业务量和网络规模的适应能力。

原型系统 QNet 的设计目标是实现面向连接的、绝对延

迟保证的 VoIP 服务质量保证系统。基于保证系统平台普遍性的考虑,选择支持 H. 323 的 Microsoft NetMeeting 作为 VoIP 应用;采用 Cisco 的路由器和交换机构建网络平台,其调度策略选择 FCFS;选择 oRBacus 4.1.0 作为中间件。本系统需要解决的关键问题包括延迟计算、包分类、应用端的流量整形和接纳控制等。以下首先说明与 QoS 保证密切相关的延迟计算方法,再简要说明具体的功能实现。

4.1 延迟计算

VoIP 语音包的端到端延迟包括应用处理延迟、传播延迟、传输延迟、排队延迟,其中仅排队延迟是可变的。因此,我们主要考虑网络中包的排队延迟。本系统应用分解的方法,将对网络排队延迟的计算问题转化为对每个路由器的排队延迟的计算问题。

定理1 假定会话 i 的连接路径经历的路由器集合为 N , 经历路由器 j 的排队延迟记为 d_j , 会话 i 端到端的延迟记为 $d^{i,e}$; 并假定固定延迟(含应用处理延迟、传播延迟、传输延迟)为 $d^{f,i}$, 则有

$$d^{i,e} = \sum_{j \in N_i} d_j + d^{f,i} \quad (1)$$

对于排队延迟计算问题,Chang、Cruz^[17~19]的计算理论由于缺乏可操作性,目前无实际的 VoIP 应用实例。而 Zhao^[22]提出用最大速率函数描述每个实时语音流,基于对于每个输入业务流的描述,以及被分析的网络设备的调度策略,应用排队分析方法可以得到业务流在最坏情况下的性能特征,包括最坏延迟和输出流的描述。有兴趣的读者可以参考文[22, 25]。该延迟计算方法具有可操作的特点,Zhao 等基于 ATM 网络开发的 NetEx^[22]就是应用实例。QNet 也沿用了该计算方法计算每个会话流经历每个路由器的排队延迟 d_i ; 系统中所有路由器都采用 FCFS 作为其调度策略;NetMeeting 的语音编码采用 G. 723 标准,每 30ms 产生一个 78 字节的语音包。

接纳控制算法就是对每个新进会话流查找连接路径,结合系统已有的、且与该连接路径存在带宽共享的活动连接,依据(1)计算新进流可能经历的端到端延迟 $d^{i,e}$ 。当 $d^{i,e}$ 小于新进流的端到端延迟要求,并且不破坏系统已存在会话的延迟保证时,系统允许接纳新会话,否则就拒绝新会话。

4.2 实现

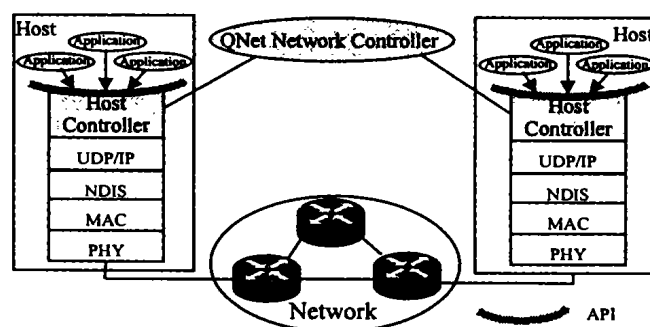


图4 QNet 总体结构

QNet 所有管理行为由两部分完成,即主机控制器(Host Controller)和网络控制器(Network Controller)。主机控制器通过 QNet 提供的接口(API)或实时业务控制模块(RTTC)管理用户端会话连接和监控本地语音流。网络控制器在其管理域范围内对所有实时连接进行管理控制,连接接纳控制(CAC)算法检查是否接收新连接,确保所有被接纳的

连接服务质量获得保证。图4为 QNet 的总体结构图。

主机控制器是驻留在客户端主机上的功能模块,其结构如图5所示。它主要由两个模块实现:

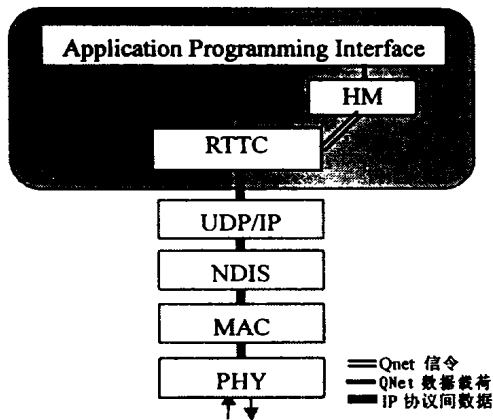


图5 主机控制器结构和协议栈

·主机管理器(HM):它负责管理本地状态信息,并与网络控制器进行信息交换。首先, HM 要截获 NetMeeting 的会话建立请求;然后, HM 负责将有关连接的信息传递给网络控制器。当网络控制器接收客户端连接接入请求后, HM 必须向网络控制器提供本地信息(包括主机延迟)。当网络控制器返回决定时, HM 接收响应并返回给 NetMeeting。若允许会话建立, HM 还需将网络控制器对该连接的控制策略转发给 RTTC。当会话要求结束时, HM 需要截获结束请求,并转发给网络控制器。

·实时业务控制模块(RTTC):它是主机控制器的执行引擎。当会话的连接已被接纳并建立后, RTTC 依据由 HM 转发的连接控制策略,实现客户端业务流控制功能,包括通过标记语音包的 DSCP 对语音包的预分类,以及为了保证每个语音流都符合流量规格的约束而对语音流进行的流量整形。

网络控制器是连接管理的首要决策者,决定新进连接是否允许接入;网络控制器还应实现业务注册和资源监视功能。网络控制器支持集中式和分布式管理,集中式适应于小型企业网,分布式适应于大型骨干网、电信数据网。主要模块有:

·资源库和资源监视:资源监视维护资源库,记录当前网络状态信息,如网络设备状态、链路带宽、路由。资源监视器利用 SNMP 收集网络资源的状态数据,并存储到资源数据库。

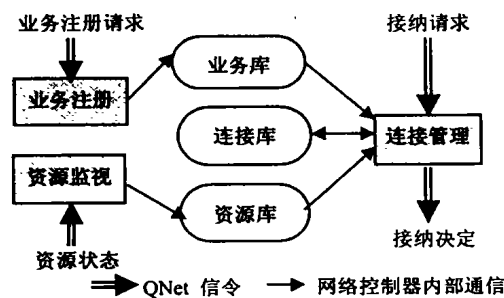


图6 网络控制器基本结构

·连接库和连接管理:连接库记录当前系统内正活动的连接记录。连接管理器包含主机代理和连接接纳控制器。网络控制器与客户端所有通讯都通过主机代理完成,主机代理负责转发来自客户端的请求信息,并将网络控制器的响应转发到客户端。连接接纳控制器实现对会话连接请求作出接纳抉择,

这也是网络控制器最重要的功能。当连接接纳控制器接收到连接请求时,它将查询资源库中网络状态信息(包括路由信息),得到该连接的路径;然后再依据接纳控制算法计算最坏延迟,判定该连接的 QoS 能否保证,并将结果传回客户端;在客户端连接建立后,需要将连接信息存入连接库。当客户端要求撤销连接时,连接管理器还需要更新连接库中活动连接信息。

·业务库和业务注册:业务注册模块维护业务库,记录系统可支持的实时业务和业务控制策略。NetMeeting 作为系统支持的 VoIP 业务需要在系统中注册,并配置相应的控制策略。

小结 本文从数据层面和控制层面讨论了 VoIP 应用的 QoS 管理机制,具体分析和讨论包转发和接纳控制的特点和实现,以及它们之间的相互作用。基于流的分类和调度策略,异构网络下延迟计算理论仍有待进一步研究。由于 QoS 的保证依赖于各种机制间的联合作用,本文又结合 QNet 原型系统的具体实现,讨论了 VoIP 的 QoS 控制系统实现问题,并指出 QoS 控制框架应同时具有有效性、高效性和良好可扩展性。轻量级控制信令协议也是 QoS 控制系统重要组成,关系到系统的控制效率。由于最坏延迟计算方法相对悲观,我们在后继的研究中将着重研究如何提高系统的资源利用率。采用中间件模式增强 QoS 控制框架的灵活性,也将是一个有意义的研究内容。

参考文献

- 1 Firoiu V, Boudec J-Y L, Towsley D, Zhang Z-L. Theories and Models for Internet Quality of Service. In: Proc. of IEEE, special issue on Internet Technology, Aug. 2002
- 2 One-way transmission time (Recommendation G.114). International Telecommunication Union (ITU), Feb. 1996
- 3 International Telecommunication Union. Packet-based Multimedia Communications System, Recommendation H. 323. Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, Switzerland, Feb. 1998
- 4 Handley M, Schulzrinne H, Schooler E. SIP: Session Initiation Protocol. Request For Comments 2543, Internet Engineering Task Force, March 1999
- 5 Guerin R, Peris V. Quality-of-service in packet networks: Basic mechanisms and directions. Computer Networks, 1999, 31(3): 169~189
- 6 Zhao Weibin, Olshefski D, Schulzrinne H. Internet Quality of Service: an Overview. [Columbia Technical Report, CUCS-003-00]. Columbia University, Computer Science Department, Feb. 2000
- 7 Knightly E, Shroff N B. Admission Control for Statistical QoS: Theory and Practice. IEEE Network Magazine, March 1999. 20~29
- 8 Casetti C, Martin J C D, Meo M. A framework for the analysis of adaptive voice over IP. ICC 2000 - IEEE International Conference on Communications, 2000(1): 82~826
- 9 Wah B W, Xiao Su, Dong Lin. A survey of error-concealment schemes for real-time audio and video transmissions over the Internet. In: Proc. Int'l Symposium on Multimedia Software Engineering, IEEE, Taipei, Taiwan, Dec. 2000. 17~24
- 10 Nichols K, Carpenter B. Definition of Differentiated Services Per Domain Behaviors and Rules for their Specification. Request For Comments 3086, Internet Engineering Task Force, April 2001
- 11 Blake S, et al. An Architecture for Differentiated Services. RFC2475, Internet Engineering Task Force, Dec. 1998
- 12 Quality of Service for Voice over IP. http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/intsolns/qossovip.htm.
- 13 Gupta P, McKeown N. Algorithms for packet classification. IEEE

- Network Special Issue, 2001, 15(2):24~32
- 14 Floyd S, Jacobson V. Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance. *IEEE/ACM Transactions on Networks*, 1993, 1(4): 397~413
 - 15 Lin D, Morris R. Dynamics of Random Early Detection. In: *Proc. of SIGCOMM*, Sep. 1997. 127~137
 - 16 Clark D D, Fang Wenjia. Explicit Allocations of Best-effort Packet Delivery Service. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1998, 6(4): 362~373
 - 17 Chang C S. Stability, Queue Length and Delay, Part I: Deterministic Queuing Networks. [Technical Report RC 17708]. IBM, 1992
 - 18 Cruz R L. A Calculus for Network Delay, Part I: Network Elements in isolation. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 1991, 37-1: 114~131
 - 19 Cruz R L. A Calculus for Network Delay, Part II: Network Analysis. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 1991, 37-1: 132~141
 - 20 Nahrstedt K. To Overprovision or To Share via QoS-aware Resource Resource Management. HPDC, Redondo Beach, California, USA, 1999
 - 21 VoIP Call Admission Control. <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/intsolns/voipsol/cac.htm>
 - 22 Sahoo A, Li C, Devalla B, Zhao Wei. Design and Implementation of NetEx: A Toolkit for Delay Guaranteed Communications. In: *Proc. of Milcom*, Volume: 2, 1997. 733~739
 - 23 Choi B K, Xuan D, Li C, Bettati R, Zhao Wei. Utilization-Based Admission Control for Scalable Real-Time Communications. *Journal of Real-Time Systems*, 2000
 - 24 Chuah C-N. A Scalable Framework for IP-Network Resource Provision Through Aggregation and Hierarchical Control. [PH. D. Thesis]. Fall 2001
 - 25 Raha A, Kamat S, Zhao W. Guaranteeing End-to-End Deadlines in ATM Network. In: *Proc. of the IEEE Intl. Conf. on Distributed Computing Systems*, May 1995

(上接第137页)

络中寻找失效路由的替代路由。使用网络恢复可以大大节省备用资源,但需要较长的恢复时间^[1]。

本文所讨论的光因特网的拓扑结构是网状网拓扑。因此,在这部分所讨论的网络生存性机制也都是基于网状网拓扑的。

网状网的保护:根据保护层次的不同可以分为 DWDM 层保护和 IP 层保护两种。

网状网的恢复:根据重新选路的计算和执行方式,可以把恢复分为集中式和分布式的恢复;根据重新选路的类型,又可以把恢复分为基于通道和基于链路的恢复;根据失效发生后路由计算的时效性,又可以把恢复分为实时和预计算恢复。

在恢复中另外一个重要的问题就是多层恢复机制的相互协调。常见的有如下3种策略:1. 在 DWDM 层进行恢复;2. 在 IP 层进行恢复;3. 不进行恢复协调。

4.3 快速选路

在 IP/DWDM 光因特网集成式路由选择机制中,如果仅仅考虑 IP 层的路由就已经是 NP-Hard 问题^[4]。因此,必须选用启发式算法或近似算法以完成快速选路的过程。

启发式算法可以这样定义:一个基于直观或经验构造的算法,在可接受的花费(指计算时间、占用空间等)下给出待解决组合优化问题每一个实例的一个可行解,该可行解与最优解的偏离程度不一定事先可以预计^[5]。

在光因特网路由选择机制中常用的启发式算法有:禁忌搜索、模拟退火、遗传算法和遗传模拟退火等算法。

4.4 多点播送路由

目前常见的做法是建立从发送方到接收方各成员的多点播送光路树,以降低多点播送业务对网络资源的占用,从而提高网络资源的利用效率。

4.5 网络资源优化配置

在这里我们所考虑的网络资源优化配置主要是针对于网络的带宽资源。前述的业务量工程是基于给定业务量模型基础之上的,也就是静态业务量。在 IP/DWDM 光因特网路由选择机制中要考虑动态业务量的情况,目的是为了业务量在整个网络上均匀分布,从而提高网络资源的利用效率。

4.6 光网络的路由和波长分配

要建立一组光路就必须决定这些光路所占用的链路以及在每条链路上为每条光路所分配的波长。这就是光网络中的

路由和波长分配(RWA)问题。

在通常情况下,根据连接需求可以将路由和波长分配问题分为静态和动态两大类。

光因特网中所面临的业务量主要是动态业务量。动态 RWA 问题在求解时,通常的做法是将其分解为路由和波长分配两个子问题。

·路由子问题:路由子问题的常见解决方式包括:固定路由与固定可选路由、基于全局信息的自适应路由、基于邻居信息的自适应路由和基于本地信息的自适应路由。

·波长分配子问题:波长分配子问题的常见解决方式包括:并行预留和逐跳预留。其中逐跳预留又可以划分为:前向预留和反向预留。

上述方式在文[6]中有详尽阐述,此处不再赘述。

结束语 IP/DWDM 光因特网路由选择机制不同于现有的 Internet 路由选择机制,具有其自身的特殊性。本文将将其概括为5种基本需求,并对这5种需求分别阐释。最后对 IP/DWDM 光因特网路由选择机制的研究现状进行总结。

IP/DWDM 光因特网路由选择机制的进一步研究过程中要充分考虑到前述5种需求,要运用相关的现代优化方法建立相应的启发式算法,在算法的设计过程中要综合考虑服务质量和网络生存性这两种基本需要,还要考虑到业务量工程、链路负载均衡和多点播送等因素。在算法建立之后,运用计算机仿真手段对算法的性能进行评估。

参 考 文 献

- 1 龚倩,徐荣,张民,叶培大.光网络的组网与优化设计.北京:北京邮电大学出版社,2002
- 2 吴江,赵慧玲.下一代的 IP 骨干网络技术-多协议标记交换.北京:人民邮电出版社,2002
- 3 Xiao Xipeng, Ni L M. Internet QoS: A Big Picture. *IEEE Network*, March/April 1999
- 4 Kodialam M, Lakshman T V. Minimum Interference Routing with Applications to MPLS Traffic Engineering. In: *Proc. of IEEE INFOCOM*, March 2000
- 5 邢文训,谢金星.现代优化计算方法.北京:清华大学出版社,1999
- 6 Zang Hui, Jue J P, Laxman Sahasrabudde, Ramu Ramamurthy, Biswanath Mukherjee. Dynamic Lightpath Establishment in Wavelength-Routed WDM Networks. *IEEE Communications Magazine*, Sep. 2001