

多业务 IP 网络规划与 QoS 研究^{*}

杨宝德¹ 蒋 凡¹ 倪 宏²

(中国科学技术大学 计算机科学技术系 合肥 230027)¹

(中国科学院声学研究所 网络与数字信号处理技术研究中心 北京 100080)²

摘 要 在 IP 网络上开展多业务商业应用是目前的研究热点。需要解决的突出问题是,如何保障多业务应用的服务质量。本文针对这一问题,将多业务 IP 网络规划与 QoS 结合起来加以考虑。在分析了各种 QoS 的机制、将 IP 网络信息作适当分类建模后,提出一种统一链路模型,最后给出了三种网络规划方案及其实现的可能性。

关键词 IP 网络,多业务,网络规划,QoS,弹性信息,流信息

Research of Network Dimensioning and QoS of Multi-Service IP-based Network

YANG Bao-De¹ JIANG Fan¹ NI Hong²

(Dept. of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027)¹

(DSP Center, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)²

Abstract It is a key point that how to guarantee QoS of the business Multi-service on the IP-based network. Aiming at this question, the relationship between multi-service IP-based network dimensioning and QoS is discussed. After analyzing all kinds of mechanisms of QoS and modeling information transmitted on IP network, the article proposes a universal link model, gives three schemes and discusses their possibility.

Keywords IP-based network, Multi-service, Network dimensioning, QoS, Elastic traffic, Stream traffic

1 引言

IP 协议及相关技术已被公认为最有希望将不同的网络技术联系起来,实现传输基础结构的一致性。而且人们已经在研究各种通信网络全部基于 IP,并集成包括数字、语音、多媒体等各种业务,每一种业务都具有相应质量保证的组网方案。为实现这样的多业务网络,各种机制和方法学被发展起来,它们都将 QoS 的思想引入网络,以促进可用资源的有效合理使用。图 1 描述了一般的多业务网络的典型结构。由于扩展性的原因,通常将网络划分为地区或者域,它们一般是自治的。在这些域中,像流量控制、资源控制、或流量工程等功能由域内中心实体来协调。因为数据流可能穿过多个区域,为了在网络范围内保障数据流的 QoS,那些受影响的控制实体必须能够彼此通信,以便采取适当的措施。

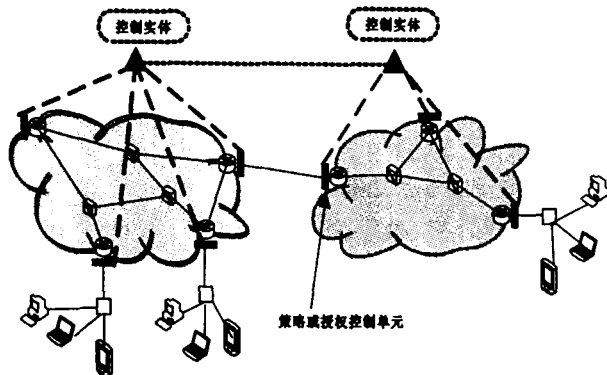


图 1 多业务 IP 网络典型结构

对于问题的简化及本文研究的范围,本文在研究具备

QoS 保证的多业务 IP 网络规划时,将研究限定在单一控制区域内。

本文第 2 节研究各种 QoS 构架的可能实现性,并讨论它们对网络规划的意义。第 3 节提出一种将 IP 传输信息分类并建模的方法,这种方法是第 4 节中要介绍的链路规划理论的基础。第 5 节中讨论三种网络规划方案及可能的解决方法。最后是总结。

2 IP 网络 QoS 机制分类及对网络规划的意义

当前已经开发并在 IP 网络中被采用的各种 QoS 机制,可以粗略划分为主要的三类:流量控制、资源控制和流量工程。针对网络规划意义,表 1 对三种分类做了简单归纳说明。

表 1 IP 网络 QoS 机制分类

分类	采用机制	技术	说明
流量控制	包分类、传输包缓存、调度整形	WFQ、WF2Q、WRR、简单优先排队	对带宽严格划分,对传输信息划分优先级
资源控制	流/呼叫授权控制(CAC)、在网络边缘基于类策略	IntServ + RSVP、DiffServ + Bandwidth Broker、带宽管理	CAC 控制流阻塞,策略控制固定传输信息范围和业务降级
流量工程	资源利用最优化、路由最优化	OSPF、IS-IS、EIGRP MPLS、多路技术	使用基于目标地址到源地址路由,单一或多路径,固定或动态路由

2.1 流量控制

依据流量控制,将主要的主机、路由器、或交换机在处理传送数据包时,所涉及的方法,作了总结。这些方法提供了基本的技巧来区分多种信息流(按每一流或每一类),针对不同的信息包作区分处理,从而建立真正支持多业务网络的基础

^{*} 863 项目,宽带信息网运营支撑环境及接入系统的研制(2003AA103710)。杨宝德 硕士研究生,研究方向为网络及应用。蒋 凡 教授,研究方向为网络及信息安全、协议测试。倪 宏 研究员,博士生导师,研究方向为多媒体通信。

结构。为了这样做,将数据包分类,并标识为一个具体的流或类,这既可以在网络边缘利用 DiffServ 实现,也可以在包传输路径通过的每一个路由器上利用 IntServ 实现。典型的调度策略是区分优先级(具有高优先级的包总是比低优先级的包优先发送出去)及带宽分配(分配的链路容量被虚拟的指定给具体信息流或类,如利用 WFQ, WRR 等)。从网络规划的角度看,较好的做法是,开始先忽略不同流量控制方案中非常具体的细节,而只考虑下面两个主要方面:

1. 固定带宽的分配。比如,假设预先将容量分配给某个具体的流或包,且不产生有害的冲突。然而,在工作保留系统中,潜在的多路技术增益就被忽略了。

2. 在分配的带宽内,某种信息流被优先处理。

这两个概念是在第 4 节介绍的统一链路模型的基础上提出的。

2.2 资源控制

资源控制涉及到一些技术,这些技术在类、流或连接一级,控制着对可用网络资源的访问,从而减少甚至避免由于流量过载而导致业务降级的可能性。在过去的几年了,许多这样的系统已经被提出并开发出来。例如,IntServ 提出在每一流的基础上,实行呼叫授权控制,这样每个单独地应用可以依据需求沿路径预留资源(如使用 RSVP)。可是原则上要求路径上的每一个路由器都支持资源预留机制,并能够处理大量并发的活动流。

为了降低系统的复杂性,DiffServ 提出一个更为静态的资源控制方法。网络管理员只建立一些信息类,沿着网络中对应的路径,为这些信息类,提供足够的带宽。而且,在网络边缘的策略实体要控制进入网络的流量。这种方法虽然可以避免在网络边缘过载,但是并不是所有网络链路都需要这样做。应该指出,IntServ 提出的呼叫授权控制工作在每一流的基础上,一个流不是被接受就是被拒绝。而策略机制工作在信息类中的每一数据包上,当流量超过某一上限,包就会被丢掉。

另一种用来资源控制的方法是,将基于类的带宽分配与通过资源管理实体、该类的外在流资源预留结合起来,简单的理解就是将前面两种方法结合起来对资源进行控制。

对网络规划人员来说,资源控制基本上可归结为两点:第一,只要实现一种每一流访问控制方案时,一种阻塞模型就可以用来规划网络。第二,在网络边缘通过策略实体时,信息聚集能够阻止超过预先设置的位速率极限,因此,为这样一个在网络中汇聚的带宽需求,要给出上限。可是当用策略机制取代呼叫授权控制机制时,活动流数量增长又有可能导致有害的业务质量下降。

2.3 流量工程

IP 网络的流量工程指出了网络性能最优化的全方面解决方法,它可以在网络运行时实现。具体讲,流量工程的一个核心概念就是路由的最优化。这可以建立在传统互联网路由协议之上,比如 OSPF, IS-IS, EIGRP 或者使用更高级的策略,比如 MPLS。在第一个情形中,文[2]给出一种快捷的方法,来设置链路容量,可以获得有利的流模式,而后者能够实现容量分配独立及灵活的源头路由。在所有的情形里,信息流在源点和目的点之间,可能在一条的路径上传输,也可能在多条路径上传输。当然,对于网络设计过程来说,路由协议的类型起着重要的作用。对网络规划来说,路由的范围可能性能够从“非常受限且静态的”到“非常灵活且动态的”。

3 IP 信息的分类和建模

当规划多业务 IP 网络时,需要更加注重实效的建模方法。不能考虑每一个应用的所有细节,因为这使得规划过程太过复杂。此外,依据流量统计学和预测,流量的不确定拥塞通常要远大于错误的发生,这归因于对某种应用特性的忽略。因此,只应该定义一些信息类,使得所有应用的集合都映射到这些类上。为了网络规划时能够处理类,这些类的需求和流量行为就在流一级建模。图 2 给出了典型多业务应用的映射过程。

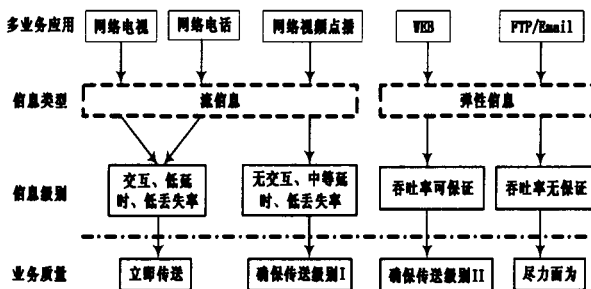


图 2 多业务应用分类及映射关系

3.1 IP 信息的分类

第一步,依据 IP 网络应用的 QoS 需求和信息类型,区分对待。本文在两种基本信息类型上做区分:

1. 弹性信息,这种信息的 QoS 与传输大批固定尺寸的数据所占用的整个时间相关联。

2. 流信息,这种信息的 QoS 依赖单独包的传输特性。

弹性信息产生于以数据为中心的应用(比如, Web, E-mail, FTP 等)。在互联网中,这种类型的流量通常利用 TCP 协议来传输,依据当前可提供的带宽来确定传输速率(比如,路径中的链路瓶颈决定了流的最大位速)。数据的吞吐率是一个与弹性信息 QoS 有关的参数,该参数值可以在信息传输时获得。另一方面,流信息与时间敏感的应用相关,比如网络电视、网络视频点播、网络电话等视频语音流。对于这些业务应用,数据包必须以一种或多或少及时的方式被传递。由此,针对流信息的 QoS 应当包括包延时、延时抖动、包丢失率。在使用流/呼叫授权控制的情况下,拥塞概率也应是 QoS 的参数之一。

依据 QoS 需求,所有业务应用必须组织在信息类里,这样可以合并相似的业务应用。在图 2 的例子中,因为网络电视和网络电话需要低延时和相应的低包丢失率,所以这两种业务应用可以归属为同一种信息类。

3.2 IP 业务信息建模

在为所有业务应用都指定了信息类后,就可以获得适当的规划模型。建模是在流或连接一级来做的,所以它隐藏了包层的细节,在包一级建模是很难估计或预测的。当包一级的特征必须被考虑时(比如包延时或包丢失),可以进行转化,将相关参数映射对应到包所属流一级的特性副本上被考虑。

流信息的建模 流信息既可以通过“连接/流到达速率”和“平均保持时间”来描述,也可以用连接速率和保持时间两者乘积值为单位的信息总量值来描述。到达间隔时间和保持时间可以假定是指数分布的。位速率在一次连接中能随时变化(例如,语音流中会有静默抑制,视频流量会有不同的位速编码),可以用平均值和最大值等参数来刻画。作为在连接一

级的 QoS 参数,拥塞概率在使用呼叫授权控制时需要考虑。如果不采用呼叫授权控制,可以定义所谓的降级概率,它表示一个期望的时间段,在这个时间段里,某个流不能获得相应的服务质量。

弹性信息的建模 对于弹性信息,可假设每一个流都与一个文件的传输相关。利用这种方法,弹性信息能够用“文件到达速率(或‘流到达速率’)”和“平均文件长度”或者两者乘积表示的平均信息总量来刻画。弹性信息的服务质量通常通过平均吞吐率值来描述,这个值可以在传输阶段测量得到。

通过对互联网传输信息的测量,显示流到达间隔时间同文件长度一样,是子指数分布的。然而分析处理这些属性是相当困难的,可以把流到达过程看作是一个典型泊松过程来建模。

4 统一链路模型和链路规划

在第 2 节介绍了 QoS 机制和它们在网络规划中意义,以此为基础,提出一种统一链路模型,该模型能用来实现规划目的,参见图 3。假定在弹性信息和流信息之间,和在同一种类型信息的不同信息类之间,将带宽分配及策略控制一起应用到拆分链路容量上。如果需要,信息优先级区分能够用在每一个容量分配中。而且授权控制可以调整所有或一些流的信息,但通常不是弹性信息。如果要控制弹性信息,需要引入拥塞概率和修改相应的设计原则。

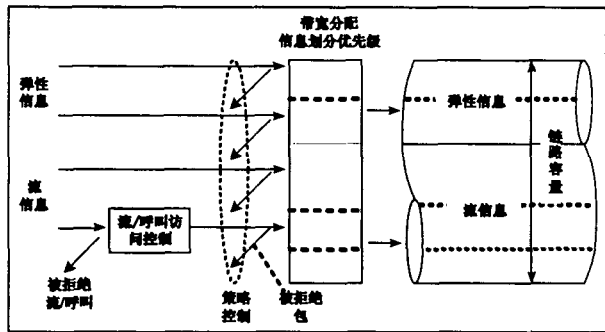


图 3 统一链路模型

这个链路模型允许单独地考虑不同的信息类,并分别决定它们需要分配的容量。要获取每一链路的全部容量,只需将单独分配的带宽值求和就可以得到。因此,模型是在忽略多路技术增益时,考虑了负载最坏情况。如果将可用的 QoS 机制做进一步的组合,可以实现更高的网络资源利用率。然而,考虑每一种可能的选择,将导致链路量化公式的复杂性,不利于网络规划。

4.1 流信息的规划

如前面提到的,流信息可以用在流一级可得到的信息值和和在包一级位速率参数来刻画。为了计算需要的带宽,位速率参数必须被转换为单一的值——有效位速率。有好几种这样的公式,它们的准确性通常与具体业务应用有关。一个相当普遍的方法利用 Lindberger 在文[4]中给出的公式,该公式说明有效位速率是源点平均位速率和最高位速率、链路容量、包丢失率的函数。这个公式基于速率信封多路技术原则,对小的缓存是有效的。因为流信息与时间敏感的业务应用相关,小缓存的约束不代表该公式的局限性。为了满足这种信息类型的端到端延时预算,沿路径的所有路由缓存应尽可能的小。当计算单独一个源头的有效带宽时,包丢失率要选

择得足够小,小到不会削弱业务应用的质量而被用户所察觉的程度。

依据为单个用户提供的信息和有效带宽,分配所需链路容量。在使用呼叫授权控制时,考虑给定的拥塞概率,带宽可以利用多业务 Erlang 拥塞公式的数值倒数计算出来。如果只采用策略机制,拥塞概率可以用降级概率来取代。这种降级概率就是活动流的数量超过了某种上限,导致单个流的服务降级。因为流的数量遵循泊松分布,那么所需容量的数值,就可以计算出来。

4.2 弹性信息的规划

弹性信息的规划模型明确地考虑了 TCP 的动态行为:一个 TCP 源头努力将它的传输速率适应路径上的最小可用带宽,以避免过载情形。假使有一个理想的 TCP 反馈机制,承载弹性信息的链路用一个处理器共享 (Processor Sharing, PS) 系统来表示,这样所有的活动流可以平等地共享资源。在前一节给出的信息模型,依据某种信息平均量分配的链路容量,能够通过这种方式得到确定:为一个需要的每一流吞吐率值,解决 PS 系统的逗留时间公式问题。在一个单独的弹性流能够依靠自己充分利用可用带宽的情形里(比如,一个链路直接连接到一台服务器),采用 M/G/1 PS 系统是合适的。在观察系统之外,任何时候,单独的流都受到带宽的限制,因此,永远不会充分利用可用带宽,甚至是在没有其它的活动流的情况下(比如,所有流都必须通过调制解调器连接)。一个性能良好的处理器共享公式应该是,它不需要知道关于流到达速率和文件大小的任何准确信息,而是以平均可知的信息量为基础。如果多个弹性信息类通过简单优先级调度来区分,那么所有信息类所需总带宽,就能够利用文[7]中的方法计算出来。公式也适用于,弹性信息使用呼叫授权控制的情形。

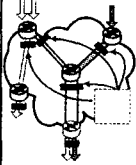
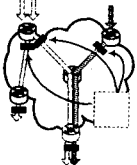
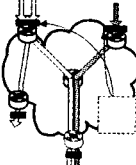
5 网络规划策略

在给出网络规划的基础之后,现在总结问题的种类并讨论网络范围规划的可能解决方案。如果没有特别要求,就认为所有的信息类彼此独立,遵循在第 4 节中描述的方法。

在网络中采取的资源控制方案对网络规划过程有极大影响。这决定了信息受哪种方式的影响:是通过拥塞和策略,还是简单地来自过载情形的损害,这影响着容量分配过程。而且,需要考虑那些在资源控制决策实际产生影响的网络点。在网络范围的上下文中,主要区分三种类型的资源控制方法学:在每个节点的呼叫授权控制,在网络边缘的呼叫授权控制,和在网络边缘的策略控制。在第一种情况中,沿有具体流量需求路径的每一个链路对对应流的全部接受概率有影响(“多跳”)。在另外两种情况中,在受控模式下(“单跳”),只有第一跳的负载决定一个呼叫是否被接受或包是否被丢弃。任何时候使用呼叫授权控制,呼叫阻塞概率都可以成为关系到 QoS 的衡量尺度,这对流信息和弹性信息都一样。如果某上限带宽被强行限制却没有使用呼叫授权控制,比如单纯使用策略控制,那么对流信息来说,会导致服务降级的可能性。对于弹性信息,这意味着对于能够提供的最小吞吐量也不能绝对保证。然而,即便某种最小吞吐量能够满足,在规划链路时,也需要考虑并发活动用户量超过某种极限的概率。表 2 给出了三种规划方案的总体描述。首先假设给定一个固定路由模型。它会是这种情形,应用路由方案只依赖于固定标准而不依赖设计问题的最优化参数,比如链路容量或链路负载。

那些运行传统路由协议,如 OSPF 或 IS-IS 的网络,和有路由方法集,每跳为 1 或其它固定值(如物理链路长度的比例值)的网络,都是这样的例子。利用适当的路由算法(如,OSPF 的“最短路径”),那么就有可能确定所有通过网络的端到端路径。

表 2 常见的三种规划方案

	方案 1	方案 2	方案 3
资源控制方案	在所有节点使用授权控制	在网络边缘使用授权控制	在网络边缘使用策略机制
网络拓扑方案			
路径选择	多跳	单跳	单跳
流信息 QoS	呼叫阻塞概率、有效带宽	呼叫阻塞概率、有效带宽	业务降级概率、有效带宽
弹性信息 QoS	流阻塞概率、平均吞吐率	流阻塞概率、平均吞吐率	平均吞吐率

5.1 额定负载的规划

假设对每一种信息类,合乎情理的额定流量需求矩阵已经找到,并且在一定的时间段内不会改变。由此,基于给定的路由,能够推演出每一个链路的流量需求。利用这些链路需求,每一信息类的容量分配就能够有依据。依据上面描述的设计方案,必须执行不同的过程。

流信息 方案 1 与 PSTN 或 ATM 这样的链路交换网比较相似。设计的目标是确定最适宜的链路容量,以实现端到端的拥塞极限要求并且使网络成本最小。路径上的每一个链路都会影响整个阻塞概率,这就需要解决非线性最优化问题。数学编程模型或启发式模型可以用来完成这个任务。

方案 2 是对于授权控制只在网络边缘实行的情形。一种适宜的方法是,独立地计算每一个端到端流量需要的容量分配,就像为单个链路所作的那样。因为容量分配必须提供给确定的端到端需求路径上每一个链路,将所有单独容量分配值加起来求和,就决定了每个链路的实际带宽值。

在实施策略前提下,方案 3 对流信息的设计同情形方案 2 相当,唯一不同就是用不能超过的降级概率极限来代替阻塞概率。

弹性信息 对于弹性信息,只有方案 3 可以在实践中被采用。通过模式仿真显示,如果为了所需的 QoS,每一个链路独立设计,则端到端 QoS(每流的平均吞吐率)是可以充分满足的。链路和网络性能之间的关系来自于 TCP 协议的实施,该协议使得发送者采用适应最小可用容量的位速率来向指向目的地路径发送数据。因此,为了满足某种平均吞吐率的 QoS,依据通过链路的总容量需求,利用适当的 PS 公式为每一个链路分配容量。相应流量值,通过将具体链路上所有路由器上的单个流量值简单相加就可以得到。

在使用 PS 公式时,一个非常聪明的地方是确定弹性流是否受网络外面的速率限制支配。如果是的话(例如:考虑拨号上网的流量),最大位速率就可以设定,而且必须使用 M/G/R PS 公式。然而,如果除了在网络边缘由策略器所强制位速率外,不能确定其他最大位速率限制,那就采取策略控制带宽分配作为最高速率限制是安全的,使用 M/G/1 PS 或

M/G/R PS 都可以。

5.2 鲁棒性设计

按照预估的流量负载来规划的网络,只要流量需求没有很明显的出入,就可以完成端到端的 QoS 需求。然而实际的情况是,流量需求和流量分布会出现很大起伏。假设无节制的流量需求在网络边缘可以通过信息分类策略控制和/或授权控制机制来有效的阻断,那么由于网络内流量迁移造成的服务降级,可以通过如下策略来避免。

网络链路容量可适当超过规划设计。这可以通过采用量化方法来实现,这种方法也隐含着考虑了与预估流量分布有关的波动。有可能实现的方法有:1)创建信息类多路负载模型并使用多路负载期间规划算法;2)所有网络链路都按最大流量负载来规划。利用这种方法,网络中的所有可能的流量模式都被隐含考虑了。

5.3 设计和路由的最优化

如果使用容量依赖或者负载依赖路由法,或采用直接路由,如 MPLS,路由的最优化与规划相结合是需要的。由于复杂性的原因,带有简单最优化步骤的组合解决方法只适合小规模的网络。一种实际解决方法是,当保持链路容量固定时,采取迭代的方式来最优化路由,反之亦然。类似的处理过程通常用在 PSTN 和 ATM 的网络规划中使用。

结束语 在项目的深入研究中,本文研究内容在许多方面得到扩展和补充。通过项目的良好反馈,本文研究的工作已经为更深入研究和项目的顺利开发提供了一个很好的基础。

参考文献

- 1 Awduche D, Malcolm J, Agogbua J, et al. Requirements for Traffic Engineering Over MPLS. IETF RFC 2702, Sept. 1999
- 2 Riedl A, Schupke D A. A Flow-Based Approach for IP Traffic Engineering Utilizing Routing Protocols With Multiple Metric Types. In: 6th INFORMS Telecommunication Conference, Boca Raton, USA, March 2002
- 3 Feldmann A. Characteristics of TCP Connection Arrivals. In: Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation, K. Park, W. Willinger, eds. Wiley-Interscience Publication, New York, 2000
- 4 Lindberger K. Balancing Quality of Service, Pricing and Utilisation in Multiservice Networks with Stream and Elastic Traffic. In: Proc. of 16th Intl. Teletraffic Congress (ITC 16), Edinburgh, 1999
- 5 Nilson A A, Perry M, Gersht A, et al. On multi-rate Erlang-B Computations. In: Proc. of 16th Intl. Teletraffic Congress (ITC 16), Edinburgh, 1999
- 6 Kleinrock L. Queueing Systems Volume II: Computer Applications. Wiley-Interscience Publication, 1976
- 7 Roberts J W, Bonald T. Performance of Bandwidth Sharing Mechanisms for Service Differentiation in the Internet. 13th ITC Specialist Seminar, IP Traffic Measurement, Modeling and Management, Monterey, 2000
- 8 Girard A. Routing and Dimensioning in CircuitSwitched Networks. Addison-Wesley, New York, 1990
- 9 Riedl A, Bauschert T, Perske M, et al. Investigation of the M/G/R Processor Sharing Model for Dimensioning of IP Access Networks with Elastic Traffic, First Polish-German Teletraffic Symposium PGTS 2000, Dresden, September 2000