

交换虚通道性能分析

金顺福 霍占强 著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

TP393/521

2007

国家自然科学基金资助项目

燕山大学学术著作出版基金资助

交换虚通道性能分析

金顺福 霍占强 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

性能分析与评价是计算机系统及网络研究与应用的重要理论基础和支撑技术,是通信和计算机科学领域的重要研究方向。本书以休假排队理论为理论基础,以交换虚通道为研究对象,综合运用理论分析和仿真模拟的研究方法,系统地讨论了性能分析与评价在ATM网络中的应用。书中大部分内容是作者近年来的研究成果,反映了网络性能分析研究的前沿。本书共分为6章,第1章和第2章为本书中涉及的交换虚通道和休假排队理论必备的基础知识。第3章系统地总结了近年来相关文献所呈现的、基于连续时间排队理论的、关于交换虚通道的研究成果。第4章和第5章分别针对网络中的用户触发事务和数据突发性,对交换虚通道完成了理论分析和系统仿真。第6章考虑到数据的相依性和突发性,将排队模型的输入过程推广到更一般的批量马尔可夫到达过程,完成了理论分析和数值例子。

本书叙述深入浅出,知识体系新颖,论证严谨,兼顾系统性、先进性和实用性。本书可作为高等学校计算机科学与技术、信息与计算科学、信息管理与信息系统及运筹与管理等专业的高年级本科生及研究生的教材或教学参考书,也可供从事计算机系统及网络性能分析工作的科研人员和工程技术人员,以及其他相关人员阅读。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

交换虚通道性能分析/金顺福,霍占强著. - 北京:电子工业出版社,2007.6
ISBN 978-7-121-04816-6

I. 交… II. ①金… ②霍… III. 计算机网络-性能分析 IV. TP393.0

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第120056号

责任编辑:李秦华

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×980 1/16 印张:13.25 字数:297千字

印 次:2007年6月第1次印刷

定 价:35.00元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序 言

20 世纪初, 丹麦科学家爱尔兰 (A. K. Erlang) 创立了通信业务量理论, 计算机的出现又使得排队论取得了很大的进展, 而将排队论的思想与方法用于通信业务理论中, 使得通信业务理论取得了显著的成果。

与相关领域的其他论著相比, 本书的系统性显得尤为突出。本书基于交换虚通道的工作原理, 依次考虑用户触发事务、数据突发性及数据相依性, 建立了具有递进关系的离散时间休假排队模型, 综合运用理论分析和系统仿真方法完成了交换虚通道的性能分析。

本书是计算机网络性能分析领域中的专著, 有关离散时间排队系统的建模、分析及仿真均属作者原创性的工作, 该项工作的研究意义在于:

- (1) 对已有 IP-over-ATM 系统的 SVC 进行性能分析, 对正在设计的 IP-over-ATM SVC 系统进行性能预测, 为合理设计缓冲区的大小, 延迟定时器的长短, 以及在众多的设计方案中, 选择一个最适当的设计、配置和管理方案提供理论依据, 并为进一步的优化设计提供基础理论。
- (2) 对进一步设计并开发具有有效流量控制及 QoS 保证机制的新协议, 设计强大的吉比特路由器, 设计在 ATM 上直接支持 API, TCP/IP 的 ATM 交换机结构及新的集成交换结构提供理论依据。
- (3) 本书所提出的一些新的离散时间排队系统模型的分析方法, 对一般计算机系统及网络, 集群系统与网格系统的性能分析、性能评价、优化设计、合理配置及有效管理具有理论指导意义。

此外, 本书所研究的离散时间休假排队系统, 还可以进一步应用于:

- (1) 下一代 Internet, 尤其是多媒体网络协议的设计与性能分析。
- (2) 无线移动网络的性能分析。
- (3) 集群系统与网格系统的性能评价与性能分析。
- (4) 运筹学研究领域。

本书适合于计算机专业、通信专业、运筹学专业的本科生、研究生及相关领域的科研人员和工程技术人员使用。

本书作者的导师田乃硕教授审阅了全文, 并提出了建设性的意见。马占友博士、刘洛辛博士及徐秀丽博士等为本书的撰写做出了重要贡献, 作者在此一并表示衷心的感谢。

本书的出版得到了两项国家自然科学基金资助, 一项燕山大学科技发展基金及一项燕山大学博士基金资助:

- (1) 国家自然科学基金资助项目《工作休假排队系统的理论、方法及应用》(10671170)。
- (2) 国家自然科学基金资助项目《同输入排队群的稳态分析及应用》(10271102)。
- (3) 燕山大学科技发展基金资助项目《基于离散时间排队系统的 ATM 拥塞问题的研究》。
- (4) 燕山大学博士基金项目《基于离散时间的 IPOA 性能指标的理论分析与仿真研究》。

由于作者水平有限, 不当之处在所难免, 恳请读者批评指正。

本书的结构

本书共分为 6 章, 内容包括: 引论, 预备知识, 基于连续时间排队模型的 SVC 性能分析, 基于用户触发事务的 SVC 性能指标的分析, 基于信元突发性的 SVC 性能指标的分析, 基于信元相依性与突发性的 SVC 性能指标的分析。

第 1 章为引论。本章综述了计算机系统及网络性能分析与评价的方法, 分析了支撑 IP-over-ATM 的交换虚通道 SVC 的工作机制及 SVC 定时器的作用; 明确了 SVC 性能分析与评价的研究方向; 在该研究方向上进行了国内外研究现状的分析, 设计了基于离散时间休假排队理论进行系统研究的具体方案及技术路线。

第 2 章简要介绍了阅读本书所需要的预备知识。本章涉及概率论、随机过程及排队论方面的基础知识, 具体包括重要的概率分布, z 变换及 LST, 计数过程, 以及排队系统的组成和数量指标。本章为后续章节的展开奠定了基础。

第 3 章为基于连续时间排队系统的 SVC 性能分析。本章对前人所完成的基于连续时间领域 SVC 性能分析与评价工作进行了总结、归纳、分析与提炼。对应 SVC 的工作机制, 分析了如下的连续时间排队模型: 带有启动机制/关停延迟的 $M/G/1$ 排队模型; 带有启动机制的/关停延迟/关停实施的具有有限容量的 $M/G/1/K$ 排队模型; 带有启动实施/关停延迟/关停实施的具有有限容量的 $MAP/G/1/K$ 排队模型; 带有启动实施/关停延迟/关停实施的具有有限容量的 $BMAP/G/1/K$ 排队模型。从 IP-over-ATM 的实际应用角度给出了 SVC 建立比率、SVC 有效利用率, 信元平均响应时间等性能指标, 对于有限容量的模型, 还分析了信元的丢失率。

第 4 章为基于用户触发事务的 SVC 性能指标的分析。考虑到由用户触发事务的无后效性, 在经典 $Geom/G/1$ 模型的基础上, 针对 SVC 的运行机制, 首先假定无穷容量的缓冲空间, 建立了带有启动实施/关停延迟/关停实施的 $Geom/G/1$ 排队模型, 利用嵌入马尔可夫链方法, 分析了该具有启动机制的延迟休假排队模型; 然后, 假定有限容量的缓冲空间, 建立了带有启动实施/关停延迟/关停实施的 $Geom/G/1/K$ 排队模型, 在该模型的解析过程中, 综合

利用了嵌入马尔可夫链方法和补充变量的方法，导出了信元的响应时间、SVC 建立（释放）比率、SVC 有效利用率、SVC 闲置比率等性能指标的表达式。针对不同的输入负载，通过数值例子说明了理论分析结果，并进行了 SVC 的性能指标的仿真统计，比较了数值例子与仿真统计结果。

第 5 章为基于信元突发性的 SVC 性能指标的分析。本章在第 4 章研究成果的基础上，在输入过程中引入了成批到达机制。首先设批量大小服从一般分布，利用嵌入马尔可夫链方法、补充变量方法分别导出了稳态下系统缓冲区中信元数目、响应时间的分布，并解释了随机分解结果的组成。考虑到网络中实际存在的信元的突发性，特别地，将批量大小设为服从能够反应自相似性的 Pareto (c, α) 分布，分析了 SVC 建立（释放）比率、SVC 的有效利用率、闲置比率及响应时间等性能指标。分别通过数值例子和仿真实验分析了不同负载下的不同信元突发性对 SVC 性能指标的影响，使用仿真技术给出了数值例子中无法给出的，均值为无穷大的平均响应时间的变化趋势，并将数值例子与仿真统计结果进行了比较，进一步验证了理论分析结果的正确性。

第 6 章为基于信元相依性与突发性的 SVC 性能指标的分析。将信元及超信元的到达过程推广到了更一般的 D-BMAP，基于 SVC 的工作机制，建立了带有启动实施/关停延迟/关停实施的 D-BMAP/G/1 模型。提出并证明了具有一般休假的 D-BMAP/G/1 分解定理，利用该定理导出了稳态下系统缓冲区中信元数目、响应时间的 PGF，分析了 SVC 建立（释放）比率、SVC 的有效利用率、以及闲置比率等性能指标的解析式。最后，通过数值例子进一步说明了这些解析式。

前 言

随着网络中多媒体数据的增加,用户对带宽及网络服务质量(QoS, Quality of Service)的要求逐步提高。这对传统的以单一信息为基础的计算机通信网络理论提出了新的挑战,同时也对计算机网络的性能评价与分析提出了新的要求。

本书在总结基于连续时间排队理论的交换虚通道(SVC, Switched Virtual Channel)性能分析理论的基础上,顺应数字化技术的发展趋势,以离散时间排队理论为基础,依据 SVC 的运作机制,建立了一套系统的、具有递进关系的、带有启动机制延迟休假的排队模型。基于排队模型的理论分析,并结合数值例子与仿真实验,对 SVC 的性能做了系统的研究。

首先,对前人所完成的、基于连续时间的 SVC 性能指标分析工作进行了归纳、总结与分析,提炼出一套较系统的、基于连续时间的对 SVC 性能指标分析的排队模型:带有启动实施/关停延迟的 M/G/1 排队模型;带有启动实施/关停延迟/关停实施的 M/G/1/K 排队模型;带有启动实施/关停延迟/关停实施的 MAP/G/1/K 排队模型;带有启动实施/关停延迟/关停实施的 BMAP/G/1/K 排队模型。针对每一种模型给出了稳态下 SVC 建立(释放)比率、SVC 有效利用率、SVC 的闲置比率、信元平均响应时间及丢失率等性能指标的解析式。

其次,针对网络中用户触发事务的无后效性,建立了带有启动实施/关停延迟/关停实施的 Geom/G/1 排队模型;考虑到缓存空间的有限性,建立了带有启动实施/关停延迟/关停实施的 Geom/G/1/K 排队模型。利用嵌入马尔可夫链方法及补充变量方法,给出了稳态下到达间隔具有无后效性的信元的平均响应时间、SVC 建立(释放)比率、SVC 有效利用率、SVC 闲置比率、系统吞吐量及阻塞概率等性能指标解析式。通过数值例子和仿真实验,进一步解释和验证了 SVC 系统性能指标与超时定时器长度、系统负载大小及系统缓存容量之间的关系。

再次,在上述排队模型的输入过程中引入成批到达机制,建立了带有启动实施/关停延迟/关停实施的 Geom $^{\xi}$ /G/1 排队模型;基于有限的缓存空间,建立了带有启动实施/关停延迟/关停实施的 Geom $^{\xi}$ /G/1/K 排队模型。在批量大小服从一般分布的前提下,给出了排队系统的性能指标。针对信元到达过程的突发性,作为特例,设批量大小 ξ 服从 Pareto(c, α) 分布,导出了稳态下到达呈现突发性的信元的平均响应时间、SVC 建立(释放)比率、SVC 有效利用率、SVC 闲置比率、系统吞吐量及阻塞概率等性能指标的解析式。通过数值例子和仿真实验进一步说明并验证了突发性对 SVC 性能指标的影响。

最后,针对信元间的相依性与突发性,将信元及超信元的到达过程推广到了 D-BMAP

(Discrete-Time Batch Markov Arrival Process), 建立了带有启动实施/关停延迟/关停实施的 D-BMAP/G/1 模型。提出并证明了具有一般休假的 D-BMAP/G/1 分解定理, 导出了稳态下到达过程具有相依性与突发性的信元的平均响应时间、SVC 建立(释放)比率、SVC 有效利用率、SVC 闲置比率等性能指标的解析式, 并通过数值例子进一步说明了数据的相依性对 SVC 性能指标的影响。

本书的研究成果可以直接用于 SVC 的性能分析、优化设置及最佳设计中, 为未来的 SVC 系统设计进行合理的性能预测、正确的方案选择, 为分析已有的 SVC 系统的缺陷及瓶颈, 以及为系统的合理配置提供了理论依据; 为吉比特路由器的设计, 为直接支持 API, TCP/IP 的 ATM 交换机结构及新的集成交换结构的设计打下了理论基础; 对 IPv6 网络协议的设计与性能分析及无线移动网络的性能分析具有指导意义; 本书所提出的对于一般休假的离散时间休假模型的分析方法, 为计算机系统及网络, 集群系统与网格系统的性能分析、性能评价、优化设计、合理配置及有效管理提供了新的方法。

限于时间和作者的水平, 书中难免有错误和不妥之处, 欢迎读者批评指正。

作 者

2007 年 5 月于燕山大学

目 录

第 1 章 引论	1
1.1 交换虚通道 SVC 性能分析与评价问题的引入	1
1.2 性能评价与性能分析的主要方法	5
1.3 本书的主要内容	11
第 2 章 预备知识	14
2.1 随机变量及几个重要的分布	14
2.2 两个重要的变换	17
2.3 随机过程	19
2.4 排队论相关知识	24
2.5 本章小结	26
第 3 章 基于连续时间排队系统的 SVC 性能分析	27
3.1 交换虚通道带有启动机制与关停延迟的 M/G/1 排队模型	27
3.2 交换虚通道带有启动机制的延迟休假 M/G/1/K 排队模型	31
3.3 交换虚通道带有启动机制的延迟休假 MAP/G/1/K 排队模型	40
3.4 交换虚通道带有启动机制的延迟休假 BMAP/G/1/K 排队模型	46
3.5 本章小结	51
第 4 章 基于用户触发事务的 SVC 性能指标的分析	52
4.1 经典的 Geom/G/1 模型与 Geom/G/1/K 模型	52
4.2 基于带有启动机制的延迟休假 Geom/G/1 排队模型的 SVC 性能分析	61
4.3 基于带有启动机制的延迟休假 Geom/G/1/K 排队模型的 SVC 性能分析	78
4.4 本章小结	92
第 5 章 基于信元突发性的 SVC 性能指标的分析	93
5.1 经典的 $\text{Geom}^{\xi}/G/1$ 模型与 $\text{Geom}^{\xi}/G/1/K$ 模型	93
5.2 基于带有启动机制的延迟休假排队模型 $\text{Geom}^{\xi}/G/1$ 的 SVC 性能分析	106

5.3 基于带有启动机制的延迟休假排队模型 $\text{Geom}^{\varepsilon}/G/1/K$ 的 SVC 性能分析	126
5.4 本章小结	141
第 6 章 基于信元相依性与突发性的 SVC 性能指标的分析	143
6.1 排队模型的建立与符号表示	143
6.2 具有一般休假的 D-BMAP/G/1 分解定理	145
6.3 带有启动机制延迟休假 D-BMAP/G/1 排队模型的分析	151
6.4 SVC 性能指标的分析	159
6.5 数值例子	160
6.6 本章小结	161
参考文献	164
附录 A 部分程序源代码	172

第1章 引 论

1.1 交换虚通道 SVC 性能分析与评价问题的引入

性能分析与评价是计算机系统及网络研究与应用的重要理论基础和支撑技术,是通信和计算机科学领域的重要研究方向^[1~4]。ATM 论坛与 Internet 工程任务组 (IETF, Internet Engineering Task Force) 均在积极研究将 ATM 应用于 IP 网络后引起的性能分析问题^[5]。IP-over-ATM 的性能在很大程度上取决于底层虚通道 (VC, Virtual Channel) 的性能。虚通道 VC 分为永久虚通道 (PVC, Permanent Virtual Channel) 和交换虚通道 (SVC)。网络中的计算机数据多具突发性,且以短数据居多,因此,IP-over-ATM 主要是基于 SVC 的。IP-over-ATM 中 SVC 的性能取决于多种因素,最基本的因素在于系统的配置 (即系统构成所包括的各种软件、硬件的成分、数量、能力和系统结构、处理和调度策略等) 及系统负载^[6]。SVC 性能指标的分析对 IP-over-ATM 的优化设置、网络控制,特别是系统缓冲区大小的设置,延迟定时器长短的设置提供了理论依据。

1.1.1 IP-over-ATM 技术的出现

随着互联网络规模的扩大,尤其是网络中视频、音频等流媒体数据的增加,人们对带宽的要求越来越高。网络发展到目前为止,电网络传输速率已接近极限 (超过 40 Gb/s 即使可能,也相当困难),光 Internet (光互联网) 成为发展趋势。光 Internet 是指将 IP 直接接入到光网上或直接接到光纤上,常用方法是采用 ATM 技术,使用 155 Mb/s (STM-1) 直至 622 Mb/s (STM-4) 的高速链路。ATM 不仅可以解决带宽问题,也能够为 IP 服务提供好的 QoS^[7,8]。ATM 是以定长 53 字节的信元 (cell) 为基本单位进行交换和复用的面向连接的传输机制,每一连接必须预先设定 QoS。语音、数据、图像和视频流等都可以应用在 ATM 上,但对于不同的应用流,需要不同的 ATM 适配层 (AAL) 来映射相应的用户数据及 ATM 信元^[9]。

ATM 和 IP 源于不同的技术团体和基础,有着各自的应用。IP 的目的是以不确定的状态将信元发送到目的地,它是无连接的,没有 QoS 的保证;ATM 的目标是提供有保证的综合业务,是面向连接的,基于快速的固定长度信元的交换。将普遍使用的 IP 技术与先进的 ATM 技术结合成为一种需要,IP-over-ATM 应运而生。IP-over-ATM 的优点^[10]包括:把面向连接的

ATM 的能力引入到无连接的 IP 中去;优化组合选路与交换;既保留了 ATM 的速度快、容量大、多业务支持能力,也保留 IP 的简单、灵活、易扩充、统一的特点。IP-over-ATM 主要适用于网络边缘多业务的汇合和一般容量的 IP 骨干网。目前存在诸多 IP-over-ATM 技术,如 LANE (Emulated LAN), (CIPOA, Classic IP-over-ATM) 及 MPOA (Multiple Protocol over ATM)。

1.1.1.1 LANE 技术

这是 ATM 论坛推出的,用来在 ATM 网上仿真 Ethernet/802.3 和 Token Ring/802.5 的协议。LANE 协议定义了仿真 IEEE 802.3 以太网或 802.5 令牌环网的机制;定义了与现有 LAN 相同的为网络层提供服务的接口,在 ATM 网络中传输的数据以相应的 LAN MAC 信元格式封装。每个 LANE 由一组 LANE 客户 (LEC) 和 LANE 服务 (LES) 构成。利用局域网仿真,现有的 LAN 应用程序能在 ATM 网上进行通信,就像在传统的用 MAC 地址进行寻址的 LAN 上一样,可提供组播和广播数据传送^[11]。LANE 运行在 MAC 层,任何第三层协议可在其上运行,LANE 的封包用 AAL5 适配后封装成 ATM 信元,由交换虚通道 (SVC, Switched Virtual Channel) 承载。

1.1.1.2 CIPOA 技术

CIPOA 技术把 ATM 作为 IP 的低层数据链路层,而应用层仍基于传统的 IP 协议。最初在传统 IP 网中实现 ATM 只是用 ATM 替代了 LAN,正因为如此,ATM 网络需要分割成不同的逻辑子网 (LIS, Logical IP Subnet),LIS 之间通信需要路由器。在 ATM 网中没有广播功能,因此,传统的广播地址解析协议 (ARP) 被基于客户/服务器模式的 ATM ARP 协议所取代。一个默认的逻辑链路/子网接入协议封装 8 字节段,用来在 ATM 上传送 IP 和 ATM ARP 包,这些包用 AAL5 封装适配后直接映射到 ATM 信元中,这些信元用虚通道连接 (VCC, Virtual Channel Connection) 传送^[12]。对于 SVC 的呼叫建立,需要 ATM 论坛的 UNI3.1/4.0 或 ITU-T 的 Q.2931 信令。

1.1.1.3 MPOA 技术

该技术克服了 CIPOA 和 LANE 的最大缺点,允许不同的子网用户之间直接建立一条较短的 VCC,而不需要中间的重组和分段。MPOA 包括 MPOA 客户机和 MPOA 服务器。MPOA 客户机可以是 ATM 主机或通过边缘设备与 ATM 相连的非 ATM 网段主机,边缘设备之间可以进行第二层的桥接或第三层的转发,通过短路径的 VCC 传送。MPOA 客户机具有监视第三层的信元流的功能,当检测到去往某一特定目的地的连续的信元流时,MPOA 客户机向 MPOA 服务器查询目的地 ATM 地址或去往目的地的 ATM 边缘设备的 ATM 地址,用来建立短路径 VCC^[13]。MPOA 将信元转发功能和路由计算功能分离,路由计算由路由服务器完成。这种分离与传统的路由器相比,提高了转发效率,且具有更高

的吞吐量。信元使用 LANE 或 LLC/SNAP 封装格式, 用 AAL5 直接适配成 ATM 信元, 使用 SVC 进行信元传送。

不难看出, 在 IP-over-ATM 中, 无论是 LANE、CIPOA 还是 MPOA 最终都要使用虚通道 (VC), 而且更多的时候是使用 SVC 进行信元的传送, 因此 SVC 的性能对整个网络性能具有非常大的影响。

1.1.2 SVC 工作机制的分析

1.1.2.1 ATM 两级虚通道

ATM 交换对虚电路方式做了进一步的发展, 推出了信元交换方法^[14]。ATM 信元交换是面向连接的, 源 ATM 端主机在数据传输前根据对网络带宽的需求, 发出建立请求, ATM 交换机在接收到请求后, 再根据网络状况选择从源主机经过 ATM 网络到达目的主机的路径, 构造相应的路由表, 建立源主机到目的主机的虚连接。ATM 网络的虚连接可以分为两级^[15]: 虚通路连接 (VPC, Virtual Path Connection) 与虚通道连接 VCC。在虚通路一级, 两个 ATM 端用户间建立的连接称为虚通路连接, 而两个 ATM 设备间的链路称为虚通路链路 (VPL, Virtual Path Link), 一个虚通路连接是由多段虚通路链路组成的, 虚通路既可以是永久式的, 也可以是交换式的; 在虚通道一级, 两个 ATM 用户间建立的连接称为虚通道连接 VCC, 而两个 ATM 设备间的链路称为虚通道链路 (VCL, Virtual Channel Link), 一个虚通道连接是由多段虚通道链路组成的, 根据虚通道建立方式的不同, 虚通道又可分为永久虚通道 PVC 和交换虚通道 SVC。在这两级连接中, 每个 VPL 可以复用多达 65 535 条 VCL, 属于同一 VCL 的信元具有相同的 VPI/VCI 值, 使用信元头中的虚通路标记符 (VPI, Virtual Path Identification) 和虚通道标记符 (VCI, Virtual Channel Identification) 进行标识。

在 VCC 连接中, PVC 是靠源地址与目的地址之间的永久性硬件电路连接的, 不论是否有数据传输, 它都保持连接, 通常用于经常有大量数据传输的场合, 也可以用于信号的保持和管理信息的通信中^[16]; SVC 则是根据实时交换要求建立的临时交换电路连接, 在数据传输完成后就自动断开, 主要用于大量的有间断数据传输。从用户的角度来讲, PVC 的性能要优于 SVC, 但 PVC 在不传送数据时, 也要占用系统的资源, 而且还要求两站点同时连入网络中, 造成网络资源的浪费。因此, 用于大规模 ATM 广域网上的 IP-over-ATM 更多使用的是适合传送计算机数据的 SVC。SVC 的运行分为三个阶段: 建立连接、信元传输及释放连接。

1.1.2.2 SVC 连接的建立

首先, 由源站点向目的站点发出连接“建立请求”, 网络向要求建立连接的源站点回送“呼叫确认”, 表明呼叫建立已启动, “建立请求”沿网络向目的站点传播的每一步都会返回

“呼叫确认”。然后，目的站接收到“建立请求”后，如果连接条件满足，则返回“连接响应”，表明接受呼叫，在“连接响应”返回源站点过程中，每一步均会产生“连接确认”，最后，源站点用“连接确认”响应网络^[17]。SVC 的建立过程如图 1.1 所示。

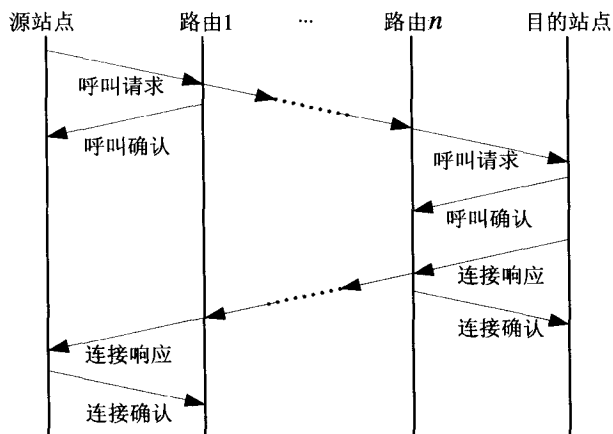


图 1.1 交换虚通道建立过程

两个对等通信实体之间的 SVC 建立起来之后，路由选择过程便结束了，接下来的任务就是在已建立好的 SVC 上进行信元的传输。当信元传输完毕后，按照面向连接方式的要求，要释放 SVC。

1.1.2.3 SVC 连接的释放

SVC 连接的任何一方都可以向网络主动发出 SVC “释放请求” 信令。假设源结点发出 SVC “释放请求” 信令，与源结点相邻的结点会向源结点返回“释放响应”，作为对收到 SVC “释放请求” 信令的确认，SVC “释放请求” 沿网络继续向目的站点传播，在传播过程中，每一个收到 SVC “释放请求” 信令的结点都会返回“释放响应” 信令，当 SVC “释放请求” 信令到达目的站点后，SVC 将彻底释放^[18]。具体过程如图 1.2 所示。

1.1.3 SVC 定时器的设置

与基于 PVC 的网络相比，使用动态信令协议进行 SVC 的建立与释放会带来额外的系统开销与时间延迟。从大量的统计数据中可以看出，计算机网络中的数据，以短数据居多，且具有很大的突发性。如果采用只要有信元到达就建立连接，缓冲区里最后一个信元传输完毕就立即释放连接的方式，则系统就会在建立 SVC 与释放 SVC 之间频繁转换，从而引起网络管理成本的增加，并造成很大的延迟，甚至会引起网络的拥塞。

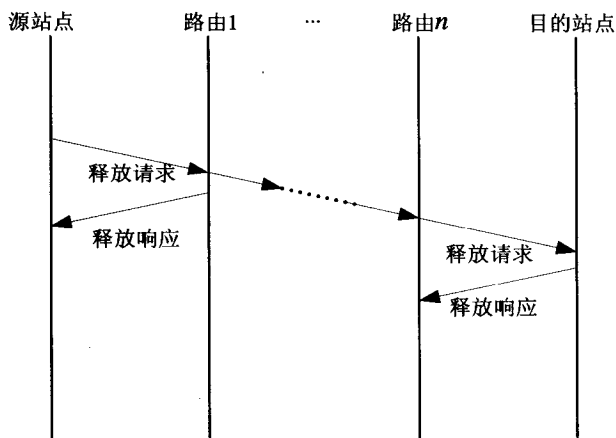


图 1.2 交换虚通道释放过程

解决这个问题的方法之一就是为每一个 SVC 设置一个延迟定时器(长度设为 T)。当 ATM 交换机的缓存中最后一个信元传输完毕后,并不是立即释放已有的 SVC,而是进入一个关停延迟期 C (Close-Delay),即在信道空出后激活该延迟定时器 Timer。如果在定时器所设定的范围内有信元到达,便可直接使用尚未释放的 SVC,继续进行新一轮信元的传送;只有在延迟定时器所规定的时间内没有信元到达时,才通过发出“释放请求”信令释放该 SVC,释放连接的阶段称为关停实施期 V (Close-Down)。由此可见,延迟定时器所规定的时间 T 是关停延迟期 C 的最大长度。关停实施期 V 结束后, SVC 连接释放完毕,全部资源归还给系统,进入空闲期 F (Free)。 F 期间产生信元的主机向目的主机发出 Setup 信令,交换机和交换机之间交换这些信令单元,并分配相应的虚通道标识符 (VCI, Virtual Channel Identifier),这一过程称为启动实施期 U (Setup)。系统连续发送信元的阶段称为信元传输期 Θ (Busy)。从一个信元传输期结束开始到下一信元传输期结束为止的这段时间称为信元传输循环 R (Cycle) [19]。

延迟定时器的引入可以降低系统用于建立 SVC 与释放 SVC 的开销,但这是以牺牲网络资源(如网络带宽,交换机的缓存)为代价的。因此在基于 SVC 的 IP-over-ATM 的网络配置,网络管理、网络设计中,延迟定时器长度 T 的设定是一个很关键的问题。合理的定时器长度的设置会以较低的网络资源^[20,21]为代价,换取整个系统的 SVC 建立与 SVC 释放成本的降低,从而既可以提高用户的性能,又可以使网络资源得以合理的使用。

1.2 性能评价与性能分析的主要方法

考虑到无线网络中 hop 之间、信道之间、用户之间及信元之间的相依性以及多路访问协

议的复杂性,无线网络性能分析的研究主要集中在 QoS 保证^[22]的建模与评估上,数据语音集成网络中多信道吞吐量和延迟^[23,24]的指标分析上,信道分配的优化^[25,26]问题上,基于 WWW 的网络流量预测^[27]及多媒体通信网中数据流量^[28]的特性刻画上。这些成果的研究多基于确定性和随机性排队网络方法,半马尔可夫链方法和对立性排队论方法^[29~33]。

清华大学牛志升教授等人围绕网络的热点问题,进行了基础的和前瞻性的研究工作,研究了宽带网资源分配与 QoS 控制技术^[34~38]、移动因特网的移动性管理与 QoS 控制技术^[39~41]以及基于平流层通信平台的一体化通信技术^[42]。

计算机系统及网络的性能指标的分析方法大致分为三类^[1,4]:测量方法、仿真方法及理论分析方法,三者之间互相依赖,也互为补充。仿真方法和理论分析方法首先要对系统建立一个适当的业务模型,然后求出模型的性能指标,以便对该模型进行性能分析与性能评价。模型中一般包括许多参数,这些参数的确定往往依赖于对实际系统的测量结果或对系统参数的估计。与测量方法相比,仿真方法与理论分析方法不仅可以应用于已有系统的性能评价中,也可以应用于尚未存在的系统的性能预测上,它的费用比测量方法要低许多^[43],理论分析方法需要进行大量的数学推导与数学计算,仿真方法的工作难点在于进行计算机仿真程序的编写。

1.2.1 基于测量技术的研究方法

测量方法,也叫现场实验(trial experiment)方法。通过一定的测量设备或一定的测量程序可以直接从网络中测得各项性能指标或与之密切相关的度量,然后由它们经过一些简单的运算求出相应的性能指标^[44,45]。这是最直接也是最基本的方法,其他方法在一定程度上也要依赖于该方法。但这种方法只能适用于已存在的,并运行着的系统的性能分析中,花费时间长,开销大,见效慢,因此有一定的局限性。

目前,已有许多 ATM 性能指标的测试工作已经完成或正在进行。郝瑞兵和吴建平^[46,47]使用测量方法研究了应用程序从 ATM 网络获得的带宽受到许多因素的限制问题,通过在 CERNET 的 ATM 测试床上的实验,对基于 ATM API 的数据交换和基于 TCP/IP/ATM 的数据交换进行了对比,说明了原始的 ATM 信元交换效率是非常好的,但在不同协议栈上的应用所能获得的带宽要受系统软件、传统的网络协议和端系统等诸多方面的限制。通过调整这些因素,可以提高应用程序可获得的带宽。武汉数字工程研究所的胡定宪与熊炜^[48]根据 ATM 参考模型结构,进行了物理层测试、ATM 流量测试, QoS 测试及 SVC 测试,从而进行了网络性能的分析与评价;刘文彬^[49]进行了一些一般业务常关心的与业务直接相关的性能指标的测试,主要包括进行 ATM 层的端到端连续性测试, PVC/SVC 中 VPI/VCI 映射的正确性和效率的测试,对网络进行的可靠性测试,如 PVC 路由冗余, PVC/SVC 自动路由重组或故障恢复,模拟测试了承载用户业务性能,如第 3 层路由冗余、时延、带宽及路由信息分发等。宋

晖翁与雯倩^[50]通过在 ATM 模拟实验环境中视频点播和在实际的 ATM 网上开通视频会议进行测试,从网络角度研究了信元丢失率等因素对视频质量造成的影响,并对测试结果进行了分析。E. Mark 和 Azer 等人通过经典的测试技术^[51~56],又一次发现了 WWW 数据呈现出的自相似性,并分析了自相似性的产生是由于文档大小及文件传输过程中缓存的行为、用户的喜好及用户的思考时间造成的。

1.2.2 基于仿真技术的研究方法

ATM 涉及两类模拟技术^[1,4,57]:一类是 ATM 局域网仿真技术,这是 ATM 技术逐渐渗入到局域网领域的一种必然结果,可以用来实现 ATM 网络与传统局域网的连接和业务互通的技术,该技术可实现在 ATM 网络上对多种现行网络协议业务的支持,并可将现行局域网主干改造成 ATM 网络,从而推动共享介质型局域网向 ATM 网络的过渡。另一类模拟技术是指在进行网络性能分析时,用一个计算机程序动态地模拟一个系统及其负载,一般首先使用一个模拟语言来为系统建立仿真模型,然后在模拟过程中,通过负载驱动系统模型得出模型的性能指标。这种方法可以避免进行艰涩的数学理论推导,因此在实际中得到广泛的应用,有许多重要的结论^[58,59]都是通过这种方法得出来的。通信系统中常用的计算机仿真方法有蒙特卡洛方法,针对于稀有事件的仿真还有重要采样等方法。

已有的主要工作有无线 ATM 通信网络仿真及性能研究、突发业务下 ATM 共享存储区交换单元的仿真研究及局域网在接入型 ATM 交换机中实现的研究等。仿真方法可以详细地刻画系统,得到较合理的性能指标,但程序的编制费用较高。随着网络中多媒体数据的增加,网络中数据的突发性、自相似性得到了人们的重视,数据所呈现出的自相似性在很大程度上改变网络性能分析的方式,经典的分布已不再适合,无后效假设会严重地影响性能分析的准确性,在这一方面,国内外也做了一些切实的研究工作,但研究工作主要集中在自相似性的测量及自相似性的仿真上^[55]。

石扬,丁炜与蔡安妮^[60]通过建立共享存储区型 ATM 交换单元的仿真模型,研究了突发业务下吞吐量、平均突发长度、共享区长度与信元丢失及延迟的关系,发现不同输入循环方式将引起信元丢失在输入端的分布差异;吞吐量中等或端口流量特性不同时,部分共享方式可带来好的效果。郑相全^[43]基于无线宽带网的基本思想,采用 BONES DESIGNER 建立了无线 ATM 网络仿真模型,通过该模型,在给定基站信道数情况下进行了移动蜂窝系统中吞吐量、延迟、信元丢失率等统计性能的分析。Keshav, S. Shenker^[61]在讨论路由器排队拥塞控制算法的基础上,提出了一个公平排队拥塞算法,使用仿真的方法将公平排队算法与其他算法做了比较,验证了公平排队拥塞算法具有优于一般先进先出算法的带宽分配公平,延迟低等性能。

1.2.3 基于理论分析的研究方法

理论分析方法则多是应用排队理论、Petri 网等数学方法来研究和描述系统性能与系统负