

基于角色的网络体系结构与 TCP/IP 层次网络体系结构的比较研究

鲁珂 赵继东 曾家智

(电子科技大学计算机科学与工程学院 成都610054)

摘要 本文对现有 TCP/IP 层次网络体系结构的不足进行了分析、归纳,总结了 TCP/IP 层次网络体系结构存在的一些问题。通过对 Braden 等人提出的无层次的基于角色的网络体系结构的原理和设计思想的介绍,揭示了基于角色的网络体系结构的概貌。本文进而对现有 TCP/IP 层次网络体系结构与基于角色的网络体系结构进行了分析比较。提出基于角色的网络体系结构具有简洁、高效、可扩展和能够更好地实现 QoS 和安全保障机制等优点。

关键词 网络体系结构,层次结构,TCP/IP,模块化,角色

Comparison and Research between Role-Based Network Architecture and TCP/IP Layered Network Architecture

LU Ke ZHAO Ji-Dong ZENG Jia-Zhi

(School of Computer Science and Engineering UESTC, Chengdu 610054)

Abstract Based on the analysis of the deficiency in current TCP/IP layered network architecture, this paper proposes some disadvantages of TCP/IP layered network architecture. Through introducing design thinking and principle of role-based architecture that Braden and others proposed, this paper opens out a general picture about the role-based network architecture. After this, based on the comparison and analysis between current layered network architecture and role-based network architecture, this paper proposes that the role-based architecture is more sample, more efficient, more extensible and easy to implement QoS and safety mechanism.

Keywords Network architecture, Layered architecture, TCP/IP, Role

1 引言

从20世纪90年代开始,国际网络界对于高性能的网络体系结构进行了大量的研究。例如:D. Clark 和 D. Tennenhouse 在1990年提出了面向网络协议处理性能优化的应用级组帧(ALF)的网络体系结构思想^[1];试图消除传统 OSI 参考模型中由于高层协议分层过多而造成协议软件处理性能较低的不足;D. Tennenhouse 等人在1996年提出了可以在单个分组上进行资源分配和调度的高性能网络模型——主动网络技术^[2],试图消除传统 Internet 对所有分组采用单一资源分配和调度的模式;1997年 A. Lazar 提出可以根据应用需要,定制网络服务的可编程网络模型^[3],试图改变传统网络对所有应用只能提供固定服务的静态模式。上述研究都是基于传统的层次结构网络,对网络的性能进行改善,但难以解决层次结构自身存在的问题。

Stefan Boecking 提出的 MCS (Modular Communication System) 构架^[8-12]是一种具有代表性的面向对象的网络体系结构。其出发点在于:满足不断涌现的应用对于网络的不同性能和服务质量的需求。

2002年10月,Braden 等人为了了解决现有网络层间交互和难于扩展新的服务的问题,提出了一种无层次的基于角色的网络体系结构^[13],并给出了角色的模型。

2 现有 TCP/IP 层次网络体系结构存在的问题

目前正在发展的全球性网络技术 Internet 来源于美国国

防部高级研究计划局 DARPA (Defense advanced Research Projects Agency) 的前身 ARPA 建立的 ARPAnet, 该网于 1969 年投入使用。现在,实用的网络体系结构都是层次结构,例如 OSI、TCP/IP、SPX/IPX 和 ATM 等。其中,TCP/IP 分为四层,比 OSI 等协议具有较高的效率,是目前互联网所使用的主要技术体系。但是随着全球互联网的蓬勃发展,人们对网络的利用和依赖的增加,各种新的网络服务不断涌现,从而对网络的性能提出了更高的要求,TCP/IP 层次网络体系及互联网其它的局限所带来的矛盾也不断突出。主要表现在如下几个方面:

1) 各层功能冗余重复,协议软件处理效率较低。

层由实体(硬件和/或软件)构成,能够接受下层提供的服务,并能向上层提供增值服务。层具有封装性、隐蔽性和抽象性。但是也导致协议功能重复,实现复杂。 n 层向 $n+1$ 层提供的服务 $S_{n/n+1}$ 是 $n-1$ 层向本层提供的服务 $S_{n-1/n}$ 和本层自身提供的服务 S_n 的并集,记为:

$$S_{n/n+1} = S_n \cup S_{n-1/n} \quad (1)$$

进行叠代后有:

$$S_{n/n+1} = S_n \cup S_{n-1} \cup S_{n-2} \cdots \cdots S_2 \cup S_1 \quad (2)$$

由 b 可知, n 层网络协议所提供的服务是第1层到第 n 层各层自身提供服务的并集。为了提高效率,各层服务能力的交集应尽可能减少,因为交集表示各层服务功能重复。交集是不提供增值服务的。各层功能冗余重复的主要表现在:

多层检错和一层检错相比,并不能提高检错能力。最常见

鲁珂 讲师,博士生,主要研究领域为网络体系结构,网络多媒体。赵继东 讲师,主要研究领域为网络体系结构。曾家智 教授,博士生导师,主要研究方向为计算机网络与通信。

的 TCP/IP 以太网中,MAC 层采用 32 位 CRC 检错;IP 层和传输层各自采用 16 位校验和检错,其总的检错能力仅仅等于 MAC 这一层的检错能力。

地址重复降低效率。例如 IP 地址和 MAC 地址都是一个节点的地址。由于两者不一样才出现了 ARP 和 RARP(等协议及其开销。组播也存在着 IP 地址到 MAC 地址的映射问题。

分片(segment)问题。链路层、网络层和传输层都要处理,不仅多次开销,而且无法避免各层之间的交互。

2) 扩展性差。

随着网络技术的发展,对网络的应用需求是不断提高,但是基于层次性体系结构的 TCP/IP 很难扩展,不太可能增加新层,只能在各层打补丁,来满足不断增加的需求。但这些复杂的需求很难用严格的层次机构来描述,造成各种实现方案效果不佳,而且相当复杂。如资源预留协议 RSVP、实时传输协议 RTP、实时传输控制协议 RTCP、IEEE802.1D 协议、区分服务 DiffServ 和多协议标签交换 MPLS 等。这些技术相互重复且不一致,例如各层的优先级位数和类型就不一致。结果导致降低网络通信效率和计算机的处理性能。

3) 没有较好的 QoS 保障。

TCP/IP 在设计之初就没有认真考虑各种服务质量的要求问题。目前在主机上只提供了不可靠的数据报(UDP)服务和可靠的数据流(TCP)服务,路由上采用的是简单的尽力转发机制,无法保证数据传输的时间特性(延迟,抖动等)。许多更加先进的网络应用,如网络视频会议、网络电话的服务都得不到很有效的质量保障。

4) 没有很好的安全保障机制。

作为一种开放的系统,最早没有考虑网络应用的安全性,虽然现在开发了很多安全协议机制,但是网络安全仍然是一个十分严峻的问题。作为一个开放的层次固定的体系结构系统,黑客随时可以方便地研究存在的漏洞来进行攻击,同时,由于网络的许多方面缺乏用户的有效控制,信息都暴露在网络上,黑客也可以通过获得的相关信息拒绝服务,冒充,破解等多种形式的网络攻击。为了保证信息安全,目前我国的关键网络只好采用物理隔离的办法来防止来自外部的攻击,这大大降低了网络的使用效果,给工作带来不便。

3 基于角色的网络体系结构

2002年10月,Braden 等人为解决现有网络层间交互和难于扩展新的服务的问题,提出了一种无层次的基于角色的网络体系结构(RBA- Role-Based Architecture)。RBA 允许将现有的较大的协议如 IP, TCP 等进行模块化重组,使他们变成许多小的单元从而与各种特定的任务对应起来。

这是一种新的无层次的协议体系结构,RBA 没有使用协议层,取而代之地使用称为角色(role)的功能单元来组成通信系统。角色并未按层次来进行组织,因而角色之间的交互作用将比传统的协议层次要丰富得多。一个角色的输入输出部分是应用数据净载荷以及与特定的一些角色所对应的含控制信息的数据元(metadata)。这个数据元(metadata)类似于当前普遍采用的层次网络体系结构中的协议头。但是在各种分组头部中,数据元不再是一个栈(stack)的结构,而是一个协议头部“堆”(heap),即分组头部由一个容器所取代,容器可容纳各种大小尺寸的数据元子块。分组中的数据元 metadata 称为角色数据,角色数据被分成几个部分,各个部分都称为

RSH(role-specific headers)。并且这些 RSH 可以通过模块化协议单元依任意的顺序来实现插入、访问、修改、删除等功能。

一种角色拥有一个唯一的名称,称为 RoleID。RoleID 确定该角色提供某种确定类型的功能。通常情况下,角色被成对地定义,如:(分片角色与重组角色),(压缩角色与解压角色),(加密角色与解密角色)等。角色是一个抽象的概念,它所确定的功能的执行是由网络节点上的执行者(actor)来完成的。RBA 要求网络节点有唯一的地址,称为 NodeID,它对应于传统层次网络结构的网络层地址。RBA 定义角色地址为 RoleID @NodeID 的形式,它实际上是某个角色的执行者的地址。网络的端系统不必知道它发送的包要经过哪些节点,但数据包中的 RSH 将会确保只要它经过节点上有该 RSH 对应的执行者,数据包就会被执行者正确地接收和处理。

4 基于角色的网络体系结构的优势

RBA 与传统的层次网络体系结构相比,具有以下几点优势:

1. 去除了传统的层次结构中各层冗余重复的功能,提高了数据传输和处理的效率。

由于 RBA 是模块化结构,没有上下层次关系,由各种不同的角色组合完成各种不同的网络功能。同现在流行的使用的 TCP/IP 体系结构相比,它不像 TCP/IP 那样,有许多冗余信息和各个层次重复的功能,RBA 不存在层间功能的交互及功能冗余,更加精简有效,效率高。

2. 模块化的结构具有良好的扩展性。

模块化的结构天然具有良好的可扩展性。RBA 是由多个对应于不同功能的角色组成,针对不断提出的各种功能需求,调整 RBA 中的相应的角色定义即可实现,改动涉及面小而且比较简单。如果是对原有功能的改善,只需要改动相应的角色定义;如要增加新的功能,则可定义一个新的角色来实现;如果现在对某种功能已经不需要,还可以删除原有的角色。

3. 可以定义专门的模块来提供较好的 QoS 保障。

TCP/IP 网络层次模型在数据链路层、网络层、传输层都对 QoS 提供了支持,其原理往往是在现有的协议上增加新的机制,但这样的修改都是在原有的层次结构上进行修补,实现复杂且扩展不容易。最终将造成协议的复杂、功能冗余和性能不理想。

对于 RBA,由于不分层,只需一次处理端对端的 QoS 即可。另外通过添加新的角色,可以更加方便地实现对各种 QoS 的支持。如果对网络的 QoS 保障功能有特殊要求时,只要添加或改动一定的角色就能够较好地满足需求。

4. 模块化的结构可以很方便地提供各种安全保障机制。

TCP/IP 网络作为一个开放的层次固定的体系结构系统,最早并没有考虑网络应用的安全性,有些方面天生就具有安全方面的缺陷。层次结构又导致对网络的相关改动较难,对大量漏洞不能及时修补,从而使得 TCP/IP 网络的安全问题层出不穷。RBA 是一种全新的模块化的结构,在设计之初,它就能够将现有所有安全保障技术有机纳入网络体系结构之中,而且可以根据不同的需要设计出相对封闭但不需要物理隔离的专用网络,从而提供各种特殊的安全保障机制。

总结 TCP/IP 协议栈本来就是为窄带文本数据而开发的,随着网络技术的蓬勃发展,人们对网络应用的要求越来越高,对网络服务的高效性、可靠性、多样性等提出了更高

(下转第 59 页)

实验中我们采用了网络模拟中广泛使用的哑铃结构,一个瓶颈链路由16个会话共享其带宽。瓶颈链路容量为15Mb,其他链路均为100Mb和去尾(DropTail)的丢包机制,往返延迟 $RTT=160ms$ 。实验中对瞬时队列长度 q_{cur} ,拥塞窗口 $cwnd$ 的理论值和实际值进行了比较。如图5(c)显示了分组的丢弃概率,图5(a)显示了在单个链路情况TCP Vegas能调节源节点的发送窗口到一个适当的值,确保发送速率与链路的可用带宽匹配,而不是像TCP Reno那样不断循环地线性增加窗口,然后将发送窗口减半。

实验3中采用实验完全相同的网络环境,连接数增加到32,系统处于严重过载状态,分组丢弃率较高,TCP Vegas协议演变为TCP Reno,前面模型不能适用,由图6(a)可以看出,拥塞窗口处于频繁的抖动之中,无法维持在一稳定值。瓶颈链路的队列长度,如图6(b)也由于窗口的抖动而振荡,导致利用率下降。

4 稳定状态分析

实验仿真表明流体流模型能有效反映TCP Vegas协议的行为,现在我们再利用模型分析其平衡状态的行为。根据式(18),设定微分等式值为0,基于前面分析我们已经有了,

$$0 = x_i(t-T_i(t)) \left(\frac{(1-p_i(t)) \times \text{sgn}(z(t))}{w_i(t)} - p_i(t) \frac{w_i(t)}{2} \right) \quad (19)$$

此时发送速率显然不为0,只能是第二项为0,而要维持窗口变化为0,则有 $\text{sgn}(z(t))$ 为0,那么 $p_i(t)w_i(t)/2$ 也必须为0,而 $w_i(t)$ 不为0只能是分组丢弃概率为0。因此,在稳态下,TCP Vegas的分组丢弃概率为0,根据(17)式有稳态窗口大小为

$$w^* = \frac{\zeta \times RTT^*}{RTT^* - Base_rtt} \quad (20)$$

结论 本文对网络和RED算法分别建模,同时基于流体流对TCP Vegas算法进行分析研究,获得了在分组标记概率较小的情况下网络行为的模型,对基于分组水平的流量模型

的改进。该模型仍还有局限性,其适用条件受到一定约束,要求分组标记概率很小,因此,在网络拥塞较严重,即分组标记概率较大的条件下,其对网络行为建模是进一步研究的方向。

参考文献

- Brakmo L S, Peterson L L. TCP Vegas: End-to-End Congestion Avoidance on a Global Internet. *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, 1995, 13(8)
- Jacobson V. Congestion Avoidance and Control. *ACM Computer Communications Review*, 1988, 18(4): 314~329
- Floyd S, Jacobson V. Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance [J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1993, 1(4): 397
- Misra V, Gong Weibo G, Towsley D. Fluid-based Analysis of a Network of AQM Routers Supporting TCP Flows with an Application to RED. In: *Proc. of ACM/SIGCOMM*, 2000
- Cardwe N, Savage S, Anderson T. Modeling TCP latency. In: *Proc. IEEE INFOCOM*, Tel-Aviv, Israel, March 2000. 1742~1751
- Misra V, Gong W, Towsley D. Stochastic differential equation modeling and analysis of tcp-window size behavior. In: *Proc. PERFORMANCE 99*, Istanbul, Turkey, Oct. 1999
- Babis S C, Vernon M K. Modeling the Throughput of TCP Vegas. In: *Proc. ACM SIGMETRICS 2003 Int'l. Conf. on Measurement and Modeling of Computer Systems (Sigmetrics 2003)* San Diego, June 2003
- Takagaki K, Ohsaki H, Murata M. Analysis of a window-based flow control mechanism based on TCP Vegas in heterogeneous network environment. *IEICE Transactions on Communications*, 2002. 89~97
- Low S H, Peterson L, Wang L. Understanding Vegas: A Duality Model. *Journal of ACM*, March 2002, 49(2): 207~235
- Low S H, Paganini F, Doyle J C. Internet congestion control: an analytic perspective. *IEEE Control System Magazine*, Feb. 2002
- 奥斯特隆姆 K, 威顿马克 B J. 计算机控制系统理论与设计. 王晓陵, 等译. 北京: 北京科技出版社, 1987
- Sastry N, Lam S S. A Theory of Window-Based Unicast Congestion Control. In: *Proc. IEEE ICNP 2002*, Paris, November 2002
- NS project. the network simulator-ns-2 (Web site). <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- Mustafa A, Hassan M, Jha S. Design and Performance of a rate control feedback architecture for TCP/IP Network [C]. Phoenix, Arizona; In: 21st IEEE Intl. Performance Computing (ISBN 0-7803-7371-5/02) and Communications Conf. (IPCCC 2002), 2002-04-03 to 2002-04-05
- Stewart R, Metz C. SCTP: New Transport Protocol for TCP/IP [J]. *IEEE Internet Computing*, 2001(6): 64~69
- Engel R, Kandlur D, Mehra A, Saha D. Exploring the Performance Impact of QoS Support in TCP/IP Protocol Stacks [C]. In: *Proc. of IEEE INFOCOM98*, 1998. 883~892
- Boecking S. 面向对象的网络协议[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000
- Boecking S, et al. A Run-Time System for Multimedia Protocols [C]. Fourth Intl. Conf. on Computer Communications and Networks (ICCCN'1995), 1995, 9: 178~185
- Siemens A G. Performance and Software Evaluation of the Modular TIP Communication System [C]. USA: 5th Intl. Conf. on Computer Communications and Networks, 1996, 10
- Burkhard S. Configuration of Protocols in TIP [R]. [University of Cambridge Computer Laboratory's Technical Report]. 1995, 6: 368~373
- 金诚, 杜勇, 曾家智. 基于对象的动态协议配置[J]. *计算机应用*, 2001
- Braden B, Faber T, Handley M. From Protocol Stack to Protocol Heap - Role-Based Architecture [R]. First Workshop on Hot Topics in Networking, 2002, 10

(上接第58页)

的要求,此时TCP/IP的弊端也逐渐暴露出来,层次结构的特点使得把新的技术和标准引入现有网络中出现了困难,只能在原有层次结构中进行修补始终很受限,不能很好地满足新服务的需求,另外由于几个网络协议层的冗余操作也使网络性能下降。Braden等人提出的无层次的基于角色的网络体系结构允许将现有的较大的协议如IP、TCP等进行模块化重组,使它们变成许多小的单元从而与各种特定的功能对应起来,具有简洁、高效、可扩展和能够更好地实现QoS和安全保障机制等优点。

参考文献

- Clark D, Tennenhouse D. Architectural Considerations for a New Generation of Protocols [C]. In: *Proc. of Sigcomm-90*, 1990. 200~208
- Tennenhouse D, Wetherall D. Towards an Active Network Architecture [J]. *Computer Communication Review*, 1996, 26(2)
- Lazar A. Programming Telecommunication Networks [C]. USA: In: *Proc. 5th Intl. Workshop on Quality of Service 1997, IWQOS'97*: 3~24
- Paxson V, Allman M, Dawson S, et al. Known TCP Implementation Problems [S]. RFC2525, 1999, 3