

主动网技术及应用^①

周兰江

(昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650093)

摘要 主动网比传统网络具有更大的灵活性,它可以在分布式系统中更好地协调不同设备的工作,把计算所需的负荷和数据传输的负荷较合理地分担给不同设备,有效地避免单点故障,并能够缩短数据处理和数据传输的时延,提高数据的端到端(end-to-end)可达性.在主动网中,有望依照网络的当前状态,对路由器等交换设备的缓冲进行细致的管理,并对数据流所携带的信息进行归类和缓存,利用冗余路径进行数据传输,从而降低拥塞的概率和拥塞的程度,提高网络的当前性能和可预测性.

关键词: IP; QOS(服务质量); 主动网

中图分类号: TN915.09 文献标识码: A 文章编号: 1007-855X(2002)01-058-04

0 引言

传统的通信网络对网络内部的工作和用户的工作划分了明确的界限,网络仅负责在终端系统之间进行数据转发,并不对数据内容进行调整和改动.传统的数据转发方式限制了交换机及路由器等交换设备的能力,如果是分组交换网,主要的计算在于对分组头进行处理,如果是面向连接的网络,主要的计算在于执行信令协议.这种网络的内部处理机制仅限于路由、拥塞控制和 QOS(服务质量),可以视为“被动”网络.在“被动”网络中,新技术的应用往往要等待某种协议标准的制定,而这却是个漫长的过程,待标准出台时,可能已落后于用户的需求.如果能增强网络内部设备的计算能力,而不仅仅是被动地转发数据,则有望为新的应用开辟前景.这些应用包括:防火墙、Web 代理、多播和移动代理等.对一些特殊的应用,用户也希望为网络定制具有针对性的程序.

主动网的“主动”有两层含义:

- (1) 交换设备对流经它的用户数据进行计算;
- (2) 用户可以将程序注入网络,从而有可能定制更具针对性的处理过程.

主动网中的交换设备之间以及交换设备和用户之间可以交换程序代码,这有利于提高网络的适应性和灵活性,大大地增强了网络的交互能力.另外,主动网也必须对安全性加以考虑.

从本质上说,任何同时需要网络状态信息和用户应用信息才能做出最佳判断的场合都可以利用主动网技术.以拥塞控制为例,对网络拥塞状态信息的监测是节点的功能,一旦出现拥塞,节点将丢弃处于队列中的分组,但是对于究竟哪些分组更重要哪些分组可以被丢弃,却是应该由用户来决定的.一个经常被引用的例子是 MPEG 流的多帧结构. MPEG 流中, I 帧是其它 B 帧和 P 帧的恢复基础,一旦属于 I 帧的分组被丢失,即使紧随其后的 B 帧和 P 帧分组正确传输到接收端,也无法正确恢复.因此,节点最好的丢弃策略应该是:一旦必须丢弃 I 帧分组,那么相关的 B 帧和 P 帧分组也同时丢弃.显然,这需要用户应用层的帮助,否则节点无法正确区分各种分组.换句话说,真正彻底的解决方案是节点必须具有针对某种特殊应用的对数据流的处理方法.

事实上,这种要求在网络内部对数据流进行特殊处理的应用需求正在不断出现,如 Web 缓存、移动代理、防火墙、多播路由器等.这就促使人们重新思考网络结构和网络提供服务的方式:既然特殊的应用要求特殊的处理和服务,那么干脆把网络构造成一个通用的计算平台,进行特殊处理所用的代码都可以在其上

① 收稿日期: 2001-04-19;

第一作者简介: 周兰江,男,1964年生,讲师,主要研究方向:网络技术及跨平台动态 Web 技术.

运行. 更具体地说, 网络节点提供编程接口, 对数据流的处理方式可通过远端编程定制. 这样, 新业务的实现不必等待漫长的标准化过程, 只要提出这种需求的用户或服务商给出相应的代码就行了. 这就是主动网的思想.

1 体系结构

主动网中, 如果把执行用户程序代码的网络设备统称为主动节点, 则存在着三种体系结构, 即主动分组模式、主动节点模式以及综合模式.

1.1 主动分组模式

早期的主动网多采用主动分组模式, 将程序代码完全封装在主动分组内. 由于要求程序代码具有自相容性(self-contained), 以简化路由器包含的状态信息, 因此, 代码的长度不能超过 1 K 字节, 也不允许对分组进行分段传送. 为了实现不同主动网之间的互操作, DARPA(美国国防部高级计划研究局)开发了主动网封装协议 ANEP(Active Network Encapsulation Protocol), 将程序代码先封装为 ANEP 分组, 再封装为 IP 分组. 为了确保程序代码的顺利执行, 主动节点需要具备支持并发线程和划分共享内存的机制, 这样可以为每个线程合理地分配内存空间, 避免多个线程的相互干扰, 并允许在一些线程中构造适当的数据结构, 以便让其它的线程访问, 另外, 主动节点还需具备一个线程队列, 用于拟订线程的执行顺序. 鉴于安全性的考虑, 主动节点中的 ANEP Demon 负责程序代码的接收和注入, 并负责提供一个用以执行程序代码的虚拟机(virtual machine)环境以加强其安全性, 如果程序的执行权限超过了虚拟机允许的范围, 将向程序源回发一个错误分组.

程序代码的封装可以有不同的方法, 例如, 可以利用 IP 协议规定的分组格式, 将代码填入 IP 选项域, 如图 1 所示.

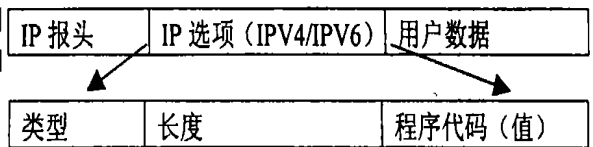


图 1 程序代码的一种 IP 分组封装格式

1.2 主动节点模式

主动节点模式中, 分组可以携带一系列标识符(为叙述方便, 该分组也称主动分组, 但它不同于主动分组模式中携带完整程序代码的主动分组). 标识符用于指定待调用的函数, 同时携带一系列有关参数以供调用. 由于程序代码本身不能从分组中获得, 因此将代码存放在“代码服务器”中, 代码服务器具有公认的(well known)地址, 可以向不同操作系统的主动节点提供函数库.

当新的应用出现时, 只需把相应的程序代码添加到代码服务器中, 主动节点便可下载. 然而, 对于初次使用的程序, 下载代码引起的时延可能导致网络性能有所下降. 为了避免某些主动分组在网络中过久地停留, 可在主动分组中的 TTL(Time To Live)域指定生存时间.

1.3 综合模式

综合模式借鉴了两种模式的优点, 当代码较短时, 由分组直接携带, 就可避免下载代码的时延; 当代码较长时, 主动分组只携带代码的调用标识符和参数, 就可避免冗长的分组.

另外, 需要指出, 在主动网体系结构的研究中, 除了需对执行效率和网络安全性加以考虑以外, 还应考虑如何使现有的 IP 网络与主动网协调运行、功能互补及资源共享.

2 主要应用

2.1 拥塞控制

传统的解决拥塞问题的方法大致可以分为预防式控制和反应式控制两种(有时也分别称为拥塞避免和拥塞控制). 预防式控制的性能依赖于对网络资源进行预测的准确程度. 但是, 对于网络资源无法或很难进行预测, 或者用户请求的业务本身不需要预约资源等情况下, 预防式控制不利于对网络资源的高效利用. 此时最好的解决办法就是反应式控制, 即由网络向用户发送拥塞信息, 用户据此调整其发送速率, 以保证网络及时摆脱拥塞. 不过从发现拥塞到用户做出反应(速率调整)之间必然有一个时间上的延迟, 而在高

带宽延迟乘积的环境下这有时是不可接受的。

主动网在解决这些问题方面有着独特的优势。由于主动节点可以具有特殊的对数据流信息的处理能力,因此,原来必须由端点执行的拥塞控制算法可以在节点动态地执行。这不仅意味着网络可以对拥塞做出及时的反应,而且在很大程度上可以保证所做出的反应是最为合理和有效的。另外,主动网还可以提供传统拥塞控制机制所无法提供的对特定应用进行特殊处理的高度灵活性。

2.2 多播

传统网络中实现可靠多播存在特殊的困难。例如网络瓶颈链路的带宽难以管理,出错时总是要求发送者进行重传,以及 NACK 爆炸等。解决这些问题的关键在于找到某种机制分散发送重传的责任以及限制重传分组的扩散范围。

主动网技术为彻底解决这些问题提供了新的思路和途径。首先,处于多播树分支点的主动节点可通过检查 NACK 序号来主动判断当前的 NACK 是否与最近前传的 NACK 重复,若重复可主动抑制,从而可有效地防止源点的 NACK 爆炸问题。第二,可根据网络当前状态适当缓存部分多播数据,使得下游的重传请求在分支点就可以得到部分满足,不必每次都要求源点重传。第三,通过主动分析多播序号可及时发现已丢失的分组,并发出 NACK,不必总是依赖接收端来发现分组的丢失,从而既能更快地补救差错,又能减少重传的带宽需求。

显然,上述机制的实现都要求网络节点具备灵活的处理能力、适当的存贮、以及对网络状态的及时监控和刷新能力。这些要求只有在主动网的框架内才能得到真正的满足。

2.3 网络管理

传统的网络管理系统一般采用周期性的轮询(poll)方式来查找异常情况,而收到的大量反馈数据中,往往只有很少一部分表明异常情况的发生,而且,由于数据的反馈需要一定的时延,这就使得管理系统得到的信息可能是“过时”的。于是,人们开始考虑一种更经济有效的管理方式。在主动网中,特定的主动分组在网络中传送时,一旦遇到特定的故障,便可立即执行所携带的程序代码,调整故障节点的状态,使之恢复正常。这样,可以在不进行轮询的条件下,快速发现故障并自动报告故障情况,从而缩减响应时延,并降低链路上为管理所分配的带宽。

2.4 基于应用的特殊处理

传统网络中,对数据流的转发策略用户通常是无法干预的。主动网的提出改变了这一状况,使许多特殊的针对特定数据流/用户的处理要求可以被方便地满足。例如,基于策略的路由选择在主动网环境下可以通过为特定数据流指定相应的处理代码来实现;而对于对安全性要求高的数据流,可以在进入敌对环境前动态地进行加/解密处理,并且加密方式可以动态地选择和更换;对网络状况进行动态监测,并为高优先级数据流选择恰当的路由以规避敌对区域或不可靠区域等。

总之,由于主动网提供的灵活性,用户有了比传统网络更大的自由来选择和定制针对他们的数据流的转发和处理策略。而这在需要支持优先级、并且网络环境和通信质量动态变化的军事通信环境中是非常有利的。

3 当前进展

目前主动网的研究主要是由美国国防高技术研究计划局(DARPA——Defense Advanced Research Project Agency)资助和管理的。其中涉及了主动网研究的各个方面,资助的范围囊括了从公司到大学,从计算机软件到通信网络等几乎所有与信息技术相关的研究单位和人员。

国外于 1995 年就已开始对主动网进行研究,目前已摆脱了提出之初所遭受的质疑,进入了具体实施方案的研究阶段。经过多年努力,已有相当大的进展,这主要体现在下面几个方面。

首先,对于主动网的体系结构总体框架已达成共识。即大体上,主动网节点的功能应分为三个部分,即节点操作系统(Node Operation System, NodeOS)、执行环境(Execution Environment, EE)和主动应用程序(Active Application, AA)。其中 EE 提供编程接口供主动分组携带的 AA 调用,同时 EE 还构成所谓虚拟机

器(virtual machine), 使得每个 AA 在主动节点上被单独、互不干扰地执行. NodeOS 负责管理主动节点的资源, 并对资源申请做出仲裁, 这些资源包括节点的转发带宽、计算能力和存储容量. 为安全起见, 当 EE 向 NodeOS 申请资源时, 必须进行用户权限的鉴别和认证. 这部分功能也是 NodeOS 必须具备的.

第二, 在执行环境 EE 和有关应用 AA 的研究和实现方面已取得了很多成果. 例如, BBN 公司的 Smartpackets 项目(侧重于主动网编程语言、网络管理诊断和安全性的研究), MIT 的 ANTS 计划及其后续的项目 PAN(侧重利用 Java 实现 EE 和主动节点运行环境), 亚里桑那大学的 Liquid Software 计划(侧重进行 Java 语言的扩展以提供性能), 宾夕法尼亚大学和 Bellcore 的 SwitchWare 计划(侧重研究特殊的主动网编程脚本语言 PLAN、Caml 等), 哥伦比亚大学的 NetScript 项目(侧重于编程语言的研究, 并应用于动态的防火墙建立以及特殊的路由功能), 佐治亚理工学院的 Liane 项目(研究利用 C++ 语言实现主动网的编程, 并应用于多播和可靠性研究)等. 此外, 目前国际上知名的主动网研究项目还有: 哥伦比亚大学的 Delegation Paradigm、卡耐基-麦隆大学的 Darwin 工程、MIT 的 ARM(Active Reliable Multicast)和 MO、华盛顿大学的 DAN(Distributed code caching for Active Networks)和 MIT 的 Active IP Option 项目等.

第三, DARPA 已构建了一个研究用的主动网实验床 ABONE. 其目标是一个包括 1000 个以上主动节点的、具备分级层次、便于扩展的、多种 EE 兼容运行的、统一管理的主动网实验平台. 目前其中已包含大约 100 个以 UNIX 为基础的主动节点, 可支持 ANTS、Netscript 和 PLAN/Alien 等多种 EE.

4 结束语

然而, 必须强调的是, 主动网并非处于传统网络的对立面. 传统网络中有不少研究成果也值得主动网借鉴. 例如在误码率较高的无线移动通信网络环境中, 主动网有望灵活地选定一种适合特定业务的编码方式.

目前, 主动网的标准尚未定型, 其应用也只存在于小规模的网络中, 在 Internet 这样的大规模通信网内使用主动网技术, 还有待进一步研究.

参考文献:

- [1] Psounis K. Active networks: applications, security, safety, and architectures[J]. IEEE Comm Surveys, 1999, 2(1): 445~ 457 <http://www.comsoc.org/pubs/surveys/1q99issue/pdf/Psounis.pdf>
- [2] Calderon M, Sedano M, Azcorra A, et al. Active network support for multicast applications[J]. IEEE Network, 1998, 12(3): 46~ 52.
- [3] Lehman L H, Garland S J, Tennenhouse D L. Active reliable multicast[J]. IEEE INFOCOM'98, 1998, 2: 581~ 589.
- [4] Tennenhouse D L, Smith J M, Sincoskie W D, et al. A survey of active network research[J]. IEEE Comm Mag, 1997, 35(1): 80~ 86.
- [5] Alexander D S, Arbaugh W A, Hicks M W, et al. The SwitchWare active network architecture[J]. IEEE Network, 1998, 12(3): 29~ 36 <http://www.cis.upenn.edu/switchware/papers/switchware.ps>
- [6] Wetherall D, Legedza D, Guttag J. Introducing new Internet services: why and how[J]. IEEE Network, 1998, 12(3): 12~ 19.

Active Networks and Applications

ZHOU lan-jiang

(Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, 650093, China)

Abstract Active networks has more flexibility than traditional networks, and can be applied to cordination of various devices in a distributed system, distribution of computation and communication burden among different facilities, effective avoidance of single device failure, decreasing delay, and enhancing end-to-end reachability. With active networks technology, elegant management of buffer in router or swithing device become possible, data flow can be effectively classified and transfered using abundant route and it cas achieve lower congestion possibility, higher performance and more predictability.

Key words: IP; quality of service; active networks