维普资讯 http://www.cqvip.com



# 主动网络研究现状和发展

The Current Research Status and Development of Active Networks

刘勇国[1] 张 伟[1,2] 彭 军[1,3] 廖晓峰[1] 吴中福[1]

(重庆大学计算机科学与工程学院 重庆400044)[1]

(重庆教育学院计算机与现代教育技术系 重庆400067)[2]

(重庆工业高等专科学校计算机系 重庆400050)[3]

**Abstract** Active networks, faced with the problem that the nodes of traditional packet networks are close and transmit packets passively, propose the thought of network computing, let network nodes intelligent and open, and make it possible to introduce new network architecture and services in time. Meanwhile, this challenges the architecture, scalability, and security of traditional packet networks. Here discussed are the research background, architecture, implementation, development direction and hot issues of active networks.

**Keywords** Active network, Active node, Network architecture, Network computing

## 1 引言

传统的计算机网络系统基于存储转发,尽力投递的思想,网络中间节点(包括路由器、网关或网桥)只能对数据包进行简单处理,如包交换中的报头处理,网络连接中的消息处理等,而不处理数据包中具体内容,将计算能力完全由末端主机完成,通信子网只是维持网络的通信能力,将网络中的数据传来传去。但是,随着网络技术的发展和用户需求的增长,这种传统的方式使得网络的维护及新体系结构的更新和新服务的引入越来越困难,因此迫切需要对传统的网络体系结构进行改造,在此背景下,美国DARPA于1994～1995年在关于未来网络系统发展方向的研究中首次提出主动网络(Active Networks)概念用以支持更加开放、性能更高的网络体系结构[1],其问题的提出基于网络中存在的问题:1)向共享的网络基础设施集成新服务和新标准十分困难;2)现行的网络协议和处理方式的更新速度缓慢,新技术引进困难;3)网络系统对数据本身的语义不作分析、理解,仅扮演尽力投递的角色;4)目前的高速路由器大都采用ASIC电路,对外界是封闭的,不利于网络新服务的引入。

针对上述现行网络存在的问题,主动网络旨在使网络中间节点具备计算功能,增强网络计算、服务的能力,适用于网络技术迅猛发展的要求。

随后DARPA组织学校和研究机构参与主动网络的研究,如DARPA资助MIT进行ANTS系统研究[2],资助南加利福尼亚大学的大规模主动中间件研究[3]等。随着研究的深入,各大公司也纷纷资助或进行主动网络研究,如Intel公司研制Phoenix体系结构[6],Sun公司资助的ANTS系统[2],Intel公司、Hitachi公司、Nortel Networks公司资助的Cenesis计划[14]等。

本文将针对国内外研究动态,阐述主动网络概念及其体系结构,以及有待研究的问题。

## 2 主动网络模型

### 2.1 概念

主动网络是由可动态编程网络节点(主动节点)和末端主机组成的可编程网络[1],其主动节点可以是路由器或交换机,主动节点动态执行面向应用的计算,主动网络中的报文格式与传统报文格式不同。主动网络中数据处理过程如图1所示,图中ND(Network Device)表示网络设备。主动网络不是在终端系统间"被动"地转发数据包,而是一个可编程的网络计算平台,它允许用户制定网络中数据包处理方式,主动数据包不再仅包含用户数据,而且还含有处理数据的代码。

**刘勇国** 博士研究生,主要研究方向为计算机网络,人工智能。**张 伟** 博士研究生,主要研究方向为人工智能。**彭 军** 博士研究生,主要研究方向为网络安全。**廖晓峰** 教授,主要研究方向为网络安全,神经网络。**吴中福** 教授,博士生导师,主要研究方向为计算机网络,人工智能。

维普资讯 http://www.cqvip.com

当主动数据包到达网络节点时，节点自动执行主动数据包的程序，完成面向应用的操作，如改变消息内容或主动节点状态。

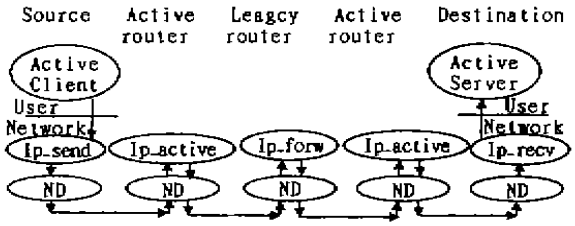


图1 主动网络数据处理模型

### 2.2 体系结构

传统网络的体系结构采用分层结构，网络服务分布在协议层间，向上层用户和应用提供端到端的透明网络服务。IEEE P1520计划[3]针对传统网络的问题，提出利用计算机操作系统向程序员提供虚拟机的抽象以至提供了计算机物理资源编程接口的思想，将此概念移植到网络节点上，即硬件和操作系统之间，操作系统和应用程序之间开放的标准化接口向外围部件商和应用服务提供商提供市场，促使应用技术发展；同样的现象在网络管理领域出现，管理信息和协议的标准化促进了第三方服务提供商的发展，如图2所示 ISO/OSI 网络体系结构图。

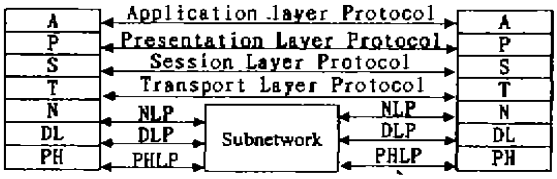


图2 OSI 网络体系结构

在 OSI 网络体系结构中，低层协议为相邻的高层协议提供相应服务，高层协议作为低层协议的用户而存在，网络协议是"水平的"，而对等实体间服务是"垂直的"，对高层用户而言，网络的复杂传输过程被屏蔽了，好象在对等层间通信一般，高层用户只须通过服务访问点完成服务的处理工作。IEEE 1520参考模型是项目组对于主动网络的抽象描述，定义了未来电路交换网、ATM 网络、IP 网络体系结构的通用框架，如图3所示，在此模型中，层与层之间存在接口，每级内部包含实体：

1）增值服务层（VASL），实体为端到端的算法，由第三方和下一层通过面向对象特性提供，如实时流管理，多媒体流同步等。

2）网络类属服务层（NGSL），实体为处理网络功能的算法，如 VC/VP 配置算法、路由算法等。

3）虚拟网络设备层（VDNL），实体为网络单元层（PEL）某些状态变量的逻辑代表。

4）网络单元层（PEL），实体为网络物理单元，如 ATM 和 IP 交换机，窄带电路交换电话网的局部交换机。

此参考模型中四类接口定义为：1）V 接口：提供对增值服务层的访问；2）U 接口：提供 NGSL 访问 VASL 的功能；3）L 接口：提供 VNDL 软件抽象对 NGSL 的功能；4）CCM 接口：提供访问物理单元状态。

文[1]中给出了几种不同的主动网络体系结构，都具有其共同特点：主动网络可根据用户需要动态扩展或制定网络服务功能，具有网络可编程的互操作性、支持代码的可移动性，同时主动网络与用户之间具有可编程接口，具有移动代码对主动节点资源安全访问控制机制等。

### 2.3 实现方法

目前，主动网络实现方式主要有两个[4,14]：

1）离散方式，以 ANTS[2]为例。主动报文均封装数据和代码，当报文到达主动节点时，在节点的执行环境 EE 中，自动完成应用指定的操作。

2）集成方式，以 Switch Ware[4,15]为例。网络对数据包和代码包分别处理，网络中间节点预先装载应用指定的操作代码，当消息数据流经节点时，检查消息

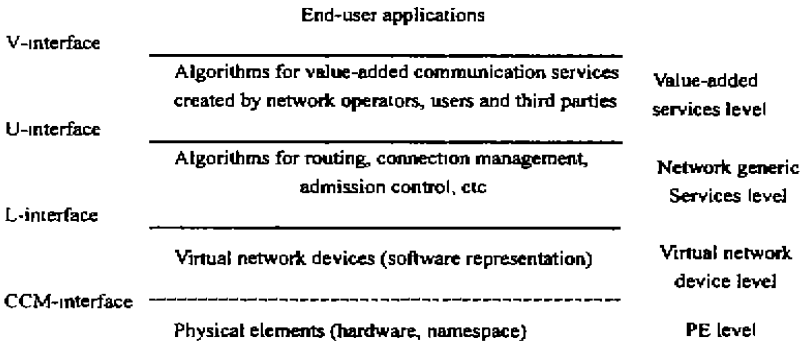


图3 P1520参考模型

维普资讯 http://www.cqvip.com

报文，完成相应的操作。

这两种方式都是从解决实际问题中产生的，因此均具有各自的应用领域。在某些应用中，为了高效利用带宽，主动报文不必携带完整的代码，而可以包含特定标识符以激活主动节点上预装的操作。另一方面，主动节点均预装程序不仅不必要，而且加重了交换设备的负担，因而一些应用程序可以通过网络按需从服务器下载，进而完成节点间的传播工作。

## 3 研究动态

国外主动网络研究始于1995年，DARPA 针对未来网络方向提出了概念和设想，后来许多研究机构开始了研究，并于1999年首次召开了第一次国际主动网络会议，同时于2000年在日本召开了第二次国际会议，主动网络研究十分活跃。国内此方面的研究多处于起步阶段，研究成果很少。

1）麻省理工学院（MIT）[2]。MIT 开发的 ANTS（Active Network Transport System）是用于端系统移动代码技术的主动网络工具，其体系结构基于封装体格式，其报文格式如图4所示。ANTS 提供可扩充 JVM，来解释、执行封装体中的 Java 小程序，ANTS 通过请求装载的代码分发机制，完成封装体自动、动态地传播到其它主动节点。

2）宾夕法尼亚大学[4,15]。宾夕法尼亚大学开发的 Switch Ware 是基于可编程网络节点方式，其目标是平衡可编程网络的弹性和网络共享基础设施（如 Internet）所需的安全性，其体系结构如图5所示，其网络 API 由 PLAN（Programming Language for Active Networks）语言写成。为了保证网络安全，Switch Ware 提供所需的安全机制：①提供公用机制用于公共服务；②提供审计机制解决用户权限；③提供验证机制控制程序安全。

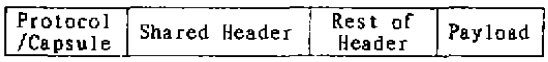


图4 ANTS 报文格式

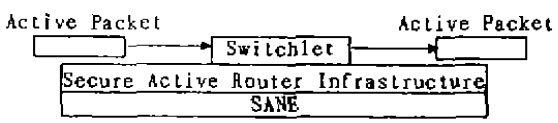


图5 Switch Ware 体系结构

3）其它主要主动网络技术。哥伦比亚大学的 NetScript[1]由编程语言和执行环境组成，采用 Agent 技术完成网络节点可编程性问题。Intel 公司 Phoenix[6]框架通过定义一个可扩展的移动代理系统和一组设备功能抽象达到网络可编程性。BBN Technologies 的 Smart Parket[14]计划着重研究以主动网络技术进行网络管理诊断，网络安全性问题。

## 4 目前主要研究问题

主动网络研究涉及网络技术的诸多领域，虽然获得部分研究成果，但许多问题尚处于起步阶段，其研究热点主要集中于以下领域：

1）网络管理[5] 其传统方式采用轮询被管设备获取变量和异常信息，这种方式将注意力放在管理平台智能化，造成信息处理和通信瓶颈，进而严重降低了问题查找的能力。针对传统网管周期性轮询的不经济问题，利用主动网络思想，将网络故障和信息处理工作交给主动报文中的“小程序”完成。如 BBN 的 Smart Packet 计划就将主动网管列入研究课题，哥伦比亚大学的 Netscript 计划采用主动单元结构来自动创建系统级管理设备及其管理信息库。

2）组播和拥塞控制[5] 组播技术运用路由树高效完成组播数据转发任务，但是，传统 IP 仅提供尽力投递，不对数据传递率限制，这不仅造成某些数据包不能到达所有接受者，而且组播应用可能独占网络资源，造成拥塞，同时将侵占单播应用网络带宽。因此，在 IP 组播中提供可靠投递和拥塞控制十分重要，文献运用主动网络技术提出了相应的解决方案。

3）网络安全 由于主动网络的主要思想是将数据和操作封装传递，在提供了网络可编程性的同时，也给网络安全性问题提出了更高的要求，权衡网络安全性、灵活性、效率等多方面因素将是重大研究课题，这一方面需要进一步深入研究。

结论 主动网络研究才刚起步，但其思想对网络技术的发展将会起巨大作用，相关研究已显示出主动网络的许多优点，而主动网络的灵活性使得网络更加复杂，提出了许多新的问题。只有进一步深入研究，才能掌握网络技术的动向。

## 参 考 文 献

1 Tennehouse，et al. A Survey of Active Network Research. IEEE Commun. Mag ，1997，35(1)：80～86

2 Wetherall D，et al. Introducing New Internet Services：Why and How. IEEE Network，1998(May)：12～19

3 Biawas J，et al. The IEEE P1520 Standards Initiative for Programmable Network Interfaces. IEEE Commun. Mag. ，1998，36(Oct.)：64～70

4 Chen T M，et al. Evolution to the Programmable Internet IEEE Commun. Mag ，2000(3)：124～128

（下转第19页）

维普资讯 http://www.cqvip.com

## 3 系统的局限性及其相关研究

UNIX 内核外实现进程迁移具有很重要的优点，它不依靠任何的内核代码，实现相对简单，又具有很好的可移植性，原则上，大多数的类 UNIX 系统都可以支持。以占用网络空闲资源来获得高吞吐量的非专用群机系统，由于要保持其软硬件平台的通用性，尤其适合于采用在内核外实现进程迁移的方法。

但是这种方法也具有一定的局限性，这是因为在用户级不能全部获取所有内核维护的信息，在内核外能够获取的信息对于多数进程来说是足够的，但是，对于一些特殊类型的进程就 够了，例如使用 fork()或 exec()派生多个子进程的进程，和某些利用套接字、管道通信的进程。这就有可能需要用户选择适合的方法编制程序来配合进程迁移，或者采用分步处理的方法，先采用只发消息并缓存的方法处理完进程间的通信关系，然后执行检查点操作。后一种方法特别适合应用于并行环境中。群机系统如果要支持并行，则还需要在底层操作系统之上安装并行软件，例如 PVM 或 MPI，执行检查点时，首先考虑并行进程的一致性问题，保证它们之间不丢失或重叠消息，并合理地处理好它们之间的通信关系，做完这些操作后，再退出并行环境，在并行环境外执行状态收集和保存，恢复运行时，也是先在并行环境外恢复进程状态，然后进入并行环境，恢复进程间的通信关系。并行环境下的检查点和进程迁移的实现超出了本文所讨论的范围，但是，它和我们以上提出的检查点和进程迁移方法相结合，却是解决迁移一个或多个彼此之间相互通信的进程的有效方法之一。

**性能与结论** 内核外实现进程迁移的方法特别适合于处理需要占用大量 CPU 时间的大计算量的科学计算任务。这是由于比较进程寿命与迁移检查点文件的总体开销的结果，一般来说，进程的可迁移性主要与迁移开销有关，我们得到经验公式，若进程满足：

age＞A＊迁移开销，0.1＜A＜1。(age：表示进程已使用的 CPU 时间)

则迁移这样的进程都会获得较为满意的效果。另外，单次检查点设置的开销也是检验迁移效率的主要指标之一，由于主要面向长运行周期的计算任务，一般单位检查点设置时间开销都不会超过 1%。因此，采用内核外进程迁移也可以获得较好的性能。目前，我们正在 LINUX 操作系统之上实现以上的系统，整个系统的核心是利用网络空闲主机资源来获得高性能计算，进程迁移作为其中的一个模块，协助解决群机系统的负载平衡、负载共享及其主人优先使用原则的问题[4]，它是检查点算法的一个延伸和扩充，除了实现单任务的检查点和进程迁移算法，在群机系统中支持并行是我们的另一个重要目标。因此，研究和实现支持 PVM 和 MPI 的检查点和进程迁移机制也是我们下一步的主要工作。

## 参 考 文 献


1 Barker M, Buyya R. Cluster Computing as a Glance. Available at: http://www.dgs.monash.edu.au/~rajkumar/cluster/vlchapl.ps.

2 Bricker A, Litzkow M, Livny M. Conder Technical Summary. Available at: http://www.cs.wisc.edu/condor/doc/ Oct. 1991

3 Chen y, Plank J S, Li K CLIP: A Checkpointing Library for Intel Paragon. SuperComputing'97, San Jose, CA, 1997

4 胡凯，王强，胡建平．机群并行计算中负载共享的关键技术．计算机科学，2000，27


(上接第 50 页)


5 Greenberg M S Mobile Agents and Security. IEEE Commun. Mag., 1998, 36(7): 76～85

6 Faber T. ACC: Using Active Networking to Enhance Feedback Congestion Control Mechanisms. IEEE Network, May. 1998

7 Calderon M, et al. Active Network Support for Multicast Applications. IEEE Network, 1998(May): 46～52

8 Denneth L, et al. Directions in Active Networks. IEEE Communication Magazine, 1998(Oct.): 72～78

9 Kasera S K, et al. Scalable Fair Reliable Multicast Using Active Services IEEE Network, 2000(Jan/Feb): 48～57

10 Putzolu D, et al. The Phoenix Framework: A Practical Architecture for Programmable Networks. IEEE Communication Magazine, 2000(Mar.), 160～165

11 Decasper D S, et al. A Scalable High-Perfomance Active Network Node. IEEE Network, 1999(Jan/Feb). 8～19

12 Alexander D S. The Switch Ware Active Network Architecture. IEEE Network, 1998, 12(3): 29～36

13 Alexander D S. A Secure Active Network Environment Architecture: Realization in Switch Ware. IEEE Network, 1998, 12(3): 37～45

14 Andrew T, et al. A Survey of Programmable Networks, ACM Computer Commun. Review, 1998

15 Schwartz B, et al. Smart Packets for Active Network, BBN Tech. http://www net-tech. bbn. com/smtpkts/smart. ps. gz, 1998