

一种基于 IP 的主动节点结构模型设计^{*}

李明¹ 马燕²

(重庆教育学院信息中心 重庆 400035)¹ (重庆师范大学物理学与信息技术学院 重庆 400047)²

摘要 主动网络是一种新型的网络体系,它为用户提供了可编程的接口,用户可通过网络中的节点动态地注入所需的服务。本文提出了一种基于 IP 选项的主动网络体系结构,分析 IP 数据报的格式,扩展 IP 数据报选项域的定义,通过在嵌入代码,可在现有的 IP 网络上实现主动技术,扩展网络服务。

关键词 主动网络,主动 IP 选项,主动节点

The Design of the Structure Model of Active Network Based IP

LI Ming¹ MA Yan²

(Network Information Center, Chongqing Educational College, Chongqing 400067)¹

(Faculty of Physics and Information Technology, Chongqing Normal University, Chongqing 400047)²

Abstract Active network is a kind of novel network architecture; it provides a programmable interface to the user where users dynamically inject services into the intermediate nodes. This paper bring forwards a structure of active network, analyses the format of the IP datagram and extends the definition field to supports the embedding of the program in datagram which can realize the active networks technology in IP network and extend the service in existence network.

Keywords Active network, Active IP option, Active node

主动网络(Active Network),是在 1995 年由 DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency)开发关于网络未来发展方向的讨论会议上提出来的。主动网络是一种新型的可编程分组交换网络,分组可携带程序代码,通过主动代码可以向网络节点插入定制的程序,使传统网络从被动方式向网络主动计算转变。主动网络在网络体系结构的发展上是一次质的飞跃,它使传统的网络成为“运行时可编程、可扩展的网络”。作为一种崭新的网络结构,主动网络的应用前景十分诱人,它将成为 21 世纪网络体系结构的主流。

1 主动网络的体系

与传统的网络相比,主动网络具有的特点有以下几点。
①可编程性:主动网络的信包和节点可用一种或多种语言编写的代码描述,从而成为网络的裁剪(Tailor)资源。
②可计算性:主动网络中的节点不仅仅只有实现“存储、转发”功能,而且具有很强的计算机能力,它分布在网络的各个节点上,能够对流经节点的数据进行语义分析、理解与计算处理。
③可移动性:主动信包在流动过程中可以访问主动节点上的资源,主动节点可以获取信包的信息,因此资源与数据的管理更为便捷。
④动态配置:新业务可以动态地安装在被管设备,从而减少新业务的开发与加载时间,减少网络管理的工作量。

目前,主动网络的三层体系结构在国际上已得到了共识,但是在实现方案上各有差异。根据主动网络所实现的网络的可编程程度不同,可以划分为多种实现方案。其中有两种典型的方案:一种是基于可编程的交换节点(Programmable Switch)的离散方案如 SwitchWare,它适合于面向连接的网络;

另一种是基于容器(Capsule)的集成方案如 ActiveWare 体系结构,它主要应用于面向无连接的网络。

2 主动 IP 选项的主动包格式

2.1 Active IP 选项域的定义

主动 IP 选项方案则是将代码嵌入现有的 IP 数据报中,变原来的“被动”数据为主动网络所需的“主动”数据,以实现用户定制的程序通过现有的网络进行传输,在其传输的途中被主动节点执行。该方案主要利用现有的 IP 选项被用于处理特殊资料包的特性来实现程序段的嵌入,由于它在包的有效载荷中,传统的路由器甚至不能看到它,只有主动路由器才能识别并执行。

IP 数据报的组成由报头和有关数据区两部分。IP 报头分为定长域和不定长域两部分,定长部分包含必要的信息如:IP 信源地址、IP 信宿地址等,不定长部分主要用于描述控制和测试的 IP 选项。

每个 IP 选项由四部分组成:选项码、长度和选项数据和选项结束标识,如图 1 所示。其中代码和选项长度各为 1 字节,数据部分的数据量由选项长度值决定,因此该部分是可变的。

| | | | | | |
|----|---|---|------|--------------|------|
| 代码 | | | 选项长度 | 数据 (可变部分) | 选项结束 |
| 复制 | 类 | 数 | | | |

图 1 IP 选项格式

在图 1 中,代码部分由三个部分组成:

^{*}重庆市教委应用基础研究资助项目(041501,020805)。李明 副教授,研究方向:计算机网络管理与应用,现代教育技术。马燕 教授,研究方向:网络体系结构、多媒体数据检索。

(1)复制:占1位长度,用于表示选项所复制到的分片。

(2)类:占2位长度,表示类型。IP选项一共分为四类,已用的有0类和2类,分别用于数据报/网络控制和测试/测量。

(3)数:占5位长度,用于定义选项的类型。

根据上述的分析,利用IP数据报的可变长特性,可在其基础之上扩展IP选项的定义,使之可携带程序代码。

2.2 基于IP选项的主动包格式

主动IP选项是对现行的IP数据包中的IP选项部分进行扩展而成的主动网络协议。为了携带程序方便,它将程序分成若干段,把每个代码段嵌入数据报的IP选项中,程序所需的数据放在IP数据报的数据区。主动IP选项已定义了两个特殊的选项代码:第一个被用于携带程序片段,它可以用于各种语言,如图2所示,图中程序代码以TCL说明,TCL即作为一种以Linux为核心的处理器上运行的编程语言。第二个被用于询问一个主动路由器所支持的编程语言。

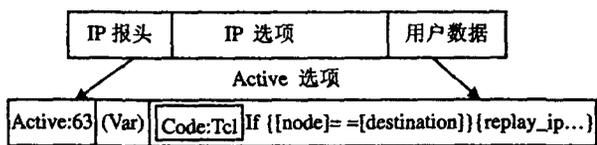


图2 主动IP选项报文格式

本方案实际上所采用的是基于容器的集成方案,这样定义的Active IP选项将IP选项与程序语言集成在一起,实现了在现有的IP数据报上主动网络的应用。

TCL的原语可以分为三类:一类原语可以支持对主动包的操作,可以实现对包头的检查等操作;第二类原语用于控制操作,允许部分访问或更新用户数据,还可以实现包的创建;第三类原语用于节点环境访问,可以实现对节点的当前环境的相互作用^[3]。

| 选项长度 | 选项长度 | | | IP选项 | | |
|------|------|---|---|------|------|------|
| | 复制 | 类 | 数 | 数据偏移 | 程序代码 | 程序数据 |
| | | | | | | |

图3 基于IP的主动包格式

本文采取的方案是利用IP数据包的最大传输单元(MTU;65535 Byte),将主动应用所需程序代码和数据都放在数据中,如图3所示。为区分程序和数据,将用户数据区的前两个字节用于存放程序数据相对用户数据区相对位移量,从第三个字节开始存放程序代码,后面是程序数据。

3 主动节点的结构模型

3.1 IP选项的主动方案

下面介绍如何在Internet上通过扩展IP数据报的选项域来实现主动包和封装与处理。主动IP选项的处理模型如图4所示。处理引擎设置在IP层附近如图4中AO所示,当主动包经过此层时调用它进行相应的处理。主动选项并没有形成一个协议层,因此它们的处理不需要按照端对端模式,而TCP/IP协议各层次之间是一一对应的。处理过程在主动网络信源、信宿以及主动网络路由器中通过调用主动网络节点提供的各种原语进行。通过这个环境可以实现对网络的检测、当前资料包的分配、新数据包的生成以及对已有数据包的

包头和净荷的读取或修改,也可以完成对结点状态的修改功能^[4]。

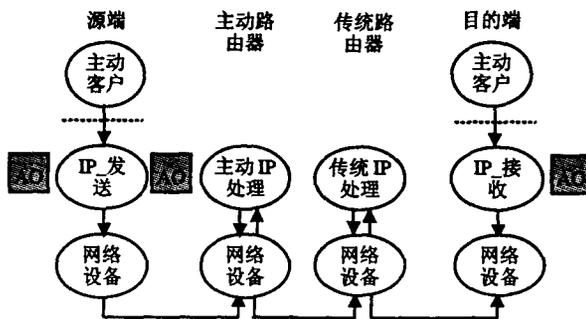


图4 主动IP选项处理模型图

对于非主动网络节点,根据RFC1122规定,相应的网络节点将放弃该数据报进行存取,嵌入Active IP选项程序。Active IP选项程序由一系列原语构成,这些原语存在于主动网络节点,构成部件内存,如在Windows环境下由各种原语形成的动态链接库可作为部件内存。原语对于主动网络节点是非常重要的,它不仅决定着封包程序的功能范围并能防止对节点产生有意或无意的破坏^[5]。Active IP的原语可分为四类:

- (1)环境资源访问:用于查询网络节点地址、连接状态、路由表、主机时间等;
- (2)数据报处理:用于对数据报本身数据更新操作;
- (3)控制操作:用于数据报的创建、发送、复制、放弃等;
- (4)节点存储空间的访问:用于访问封包程序所执行的临时空间。

Active IP的原语决定着封包程序的功能范围,并且能够防止对节点产生有意或无意的破坏,因此它对于主动网络的节点是非常重要的^[6]。封包程序的简洁性和执行效率都会受到这些原语的影响。

3.2 基于IP选项的主动节点结构

根据基于IP选项的主动包结构及传统的节点对IP数据分组的处理方式,基于IP选项的主动节点的结构如图5所示。

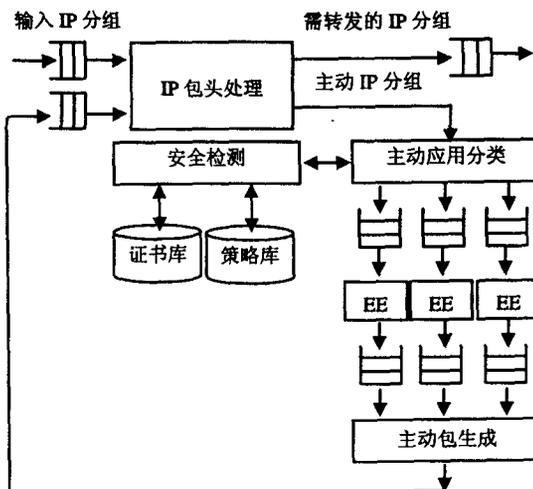


图5 主动节点的结构

图5中“IP包头处理模块”的功能是对输入的IP包进行检测与分离。传统IP数据分组按照路由原则进行排队转发,对于本地节点产生的主动包或无需由本地节点进行处理的主

动包也进行相应的路由转发处理。如果是需要本地节点进行处理的主动包则进入“主动应用分类器”中。主动应用分类器是整个系统的核心,它首先对主动包进行安全检测,以确定主动包的安全性,具体通过证书库和策略库来对包的合法性、数据完整性与身份进行确认^[6]。通过安全检测为正常的主动包则由“主动应用分类器”按照其功能分类后进入相应的 EE 执行其中相应的代码,并由“主动包生成”模块重新封装成主动包,并送往 IP 包头处理模块中队列中等待处理。

下面是用 RAISE 语言对主动节点功能进行的结构化描述:

```
ACTIVE=
class
  type
  Element, /* 定义传统的 IP 数据包 */
  Elementa, (定义 IP 主动包)
  Sec, (定义安全策略)
  Option, (定义 IP 选项)
  DatabaseSec=Sec-set, (定义安全策略库)
  Queue={|q; Element * . len q<max|}, (IP 数据包入队)
  Extensible-Queue={|q; Queue. len q<max|},
  Reducible-Queue={|q; Queue. q≠empty|},
  EE==Sortip(Elementa)-, (定义主动应用分类器)
Value
  Max: Nat, empty, Extensible-Queue,
  Put: Element * Extensible-Queue→Reducible-Queue,
  Get: Reducible-Queue→Extensible-Queue * Element,
  Packip: Element→Element,
  Fpackip: Element * Option→Boo,
  Sortip: Element * DatabaseSec→EE,
  Compose: Elementa→Element,
  .....
End.
```

3.3 主动包的分离

在图 5 的结构中,“IP 包头处理模块”的一个重要功能就是实现主动包的分离,即提取主动节点所需要的主动数据分片,并将所有的分片进行重装后组成一个完整的数据报再由主动数据处理进程。

为实现对主动包的分离,首先要对接收到的数据包地址进行判断,如果主动节点不属于目的节点,则该主动包交由本地数据处理进程处理后生成新的主动包,并交路由选择模块进行路由选择后进行转发。如果主动节点属于目的节点,则交重装模块处理以得到完整的主动包后交由主动数据处理进程处理^[7]。

本模块在原 IP 软件上对 IP 选项的处理部分增加了对主动包的判断,一旦发现是主动包就交由分离模块处理。分离模块在原 IP 软件中添加一个新的模块,该模块首先区别主动包是否是本地产生的,如果不是再对其进行分离处理。

下面是用 RAISE 语言对主动包进行分离的形式化描述:

```
PA = Class
Type
  Ldress, (本地地址)
  Ipdata, (输入数据)
  Idress, (源地址)
  F,
  Queue={|q; Element * . len q<max|},
  Extensible-Queue={|q; Queue. len q<max|},
  Reducible-Queue={|q; Queue. q≠empty|},
```

```
Queue={|q; Element * . len q<max|},
Extensible-Queue={|q; Queue. len q<max|}, Reducible-
Queue={|q; Queue. len q≠empty|},
Value
  Max: nat,
  Empty: Extensible-Queue,
  Puta: Element * Extensible-Queue→Reducible-Queue,
  Geta: Reducible-Queue→Extensible-Queue * Element,
  Putr: Element * Extensible-Queue→Reducible-Queue,
  F: Idress * Ldress→Bool,
  Insert: Idress * Ipdata * Ldress→Aaueue|Rqueue,
  Axiom forall
  ip: Ipdata, id: Idress, ld: Ldress, ai: Aaueue, ri: Rrqueue,
  insert(id, ip, ld, ai, ri)≡
  if F(id, ld) then pata(ip)
  else putr(ip)end
end
```

采用上述的方案,将主动技术与现有网络有机地结合起来,可以使主动结点或局部主动网络更好地融入当前的网络中,从而在现有的网络上实现主动方案,为用户提供可定制环境,以满足用户的各种需求。采用主动 IP 选项方案后,传统的结点分不出主动包和被动包,也就是说它可以对所有的数据包进行存储和转发,主动结点则可区分主动包和被动包,采取不同的处理方式。

结束语 主动网络是一种崭新的网络结构,它采用的主动技术涉及到编译技术、操作系统、网络技术等各个方面。它使得网络可以动态地配置和动态控制,极大地提高了网络的性能并增加了网络的灵活性和扩展性,并为宽带网络的发展提供了广阔的前景。目前虽然还没有实用的产品推出,但是它得到了广泛的关注,现在正在对其关键性的技术如路由、资源分配、安全性、开发语言和平台等进行研究,可以相信,主动网络已经开始改变了传统网络的概念,它对未来技术的影响将起非常重要的推动作用。

参 考 文 献

- 1 Moore O T, Nettles S M. Towards Practical Programmable Packets; [Technical Report MS-CIS-00-12]. University of Pennsylvania, May 2000
- 2 Di Fatta G, Gaglio S, Lo Re G, Ortolani M. Adaptive Routing in Active Networks. IEEE Openarch 2000, Tel Aviv Israel, 2000
- 3 Kiwiore D, Zabele S. Active Resource allocation in Active Networks. IEEE JSAC, 2000, 19(3): 452~459
- 4 Galis, Plattner B, Smith J M, Denazis S, et al. A flexible active IP networks architecture. In IWAN2000, Oct. 2000
- 5 Fatta G D, Re G L. Active Networks. An Evolution of the Internet. In: Proc. of AICA2001 - 39th Annual Conference, Cernobbio, Italy, Sept. 2001. 19~22
- 6 Di Fatta G, Gaglio S, Lo Re G, Ortolani M. Adaptive Routing in Active Networks. IEEE Openarch 2000, Tel Aviv Israel 2000
- 7 Wetherall D, Legedza U, Gutttag G. Introducing New Internet Services, Why and How. IEEE Networks Magazine, May/June 1998