

微通信元网络系统的软件架构^{*})

鲁珂 左玲 曾家智

(电子科技大学计算机学院 成都 610054)

摘要 在对服务元网络体系结构和微通信元网络系统进行充分研究的基础上,本文提出了一种新型的适合微通信元网络系统的软件架构。在该架构中,用面向对象的设计思想把微通信元作为一个软件对象来实现,使它既是包处理的一个最小单元,也是 CPU 调度的最小单元。这种新型的软件架构具有灵活、安全、高效、易于扩展和配置方便等优点,特别适合构建模块化的,具有面向对象特征的微通信元网络系统。

关键词 服务元网络体系结构,微通信元网络系统,软件架构,模块化

Software Architecture for Micro-Communication Element System

LU Ke ZUO Ling ZENG Jia-Zhi

(Department of Computer Science, UEST of China, Chengdu 610054)

Abstract Based on the research on Service Unit based Network Architecture(SUNA)and Micro-Communication Element System(MCES), this paper presents a kind of software architecture for MCES. Micro-Communication Elements (MCE) is not only a unit of packet-processing but also a unit of CPU-scheduling. The architecture is especially suitable for the modular MCES both because of its inherent object-oriented characteristic and because of its flexibility and convenient configuration.

Keywords SUNA, MCES, Software architecture, Modularization

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。

TCP/IP 网络的局限性在其体系结构范围内尚无法彻底解决。对于 TCP/IP 网络的不安全性, 美国等发达国家给予了高度重视, 为了确保本国军用计算机网络系统的安全性能, 美国军方正在尝试用新的体系结构来构建新一代军用网。为了研制新一代网络体系结构, DARPA 又成立了新型网络体系结构研究专项基金。在该专项资金资助下, 2002 年底麻省理工(MIT)、国际计算机科学研究所(ICSI)、USC 信息科学研究所计算机分所三个单位联合开始研究无层次的基于角色的计算机网络体系结构^[4]。其指导思想是设计一种崭新的和 TCP/IP 完全不同的无层次的网络。

在这种形势下, 曾家智教授等人原创性地提出了服务元

网络体系结构^[5], 着眼于从体系上解决 TCP/IP 网络中的及安全等问题。在服务元网络体系结构研究基础上, 我们又提出了微通信元计算机网络系统^[6], 目前正在进行该网络系统的研究和实现。本文在对微通信元网络原型进行充分研究的基础上, 提出了一种新型的特别适合微通信元网络系统的软件架构。

2 服务元网络体系结构及微通信元网络系统简介

服务元网络体系结构是电子科技大学原创性地提出的一种新型网络体系结构, 旨在彻底解决 TCP/IP 网络在安全和服务质量方面存在的局限性。微通信元网络系统是在服务元网络体系结构的研究基础上提出的一种具体的广域网构建方案。在本节中, 我们对服务元网络体系结构及微通信元网络系统作一个简单的介绍。

2.1 服务元网络体系结构简介

TCP/IP 网络体系结构是一种层次化的结构, 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。服务元网络体系结构是一种模块化的无层次网络体系结构, 服务元作为该结构中的模块, 只提供服务, 不接受服务, 所以避免了层间交互和服务传递的开销。服务元提供服务是通过服务数据单元 SDU 完成的。SDU 又称为包 Packet。服务元是 SDU 的发送者(源)、接收者(目的)、转发者(递交)或变换者。

在服务元网络体系结构中, 将抛弃层的地址的概念, 而采用端到端地址。端到端地址就是由节点地址和端口号构成的序偶。即:

^{*}) 电子科技大学青年基金资助项目。鲁珂 讲师, 博士生, 主要研究方向: 网络体系结构, 网络多媒体。左玲 硕士生, 主要研究方向: 计算机网络。曾家智 教授, 博导, 主要研究方向: 计算机网络与通信。

端到端地址=(节点地址,端口号)

服务元网络体系结构中的网络节点模型分为两部分:应用层和服务层。应用层只提供服务,服务层只接受服务。由于它们都不是典型的层,所以我们分别称之为应用群和服务团队(如图1)。应用群包括应用基础(网络管理和域名解析)、典型应用(WWW、E-mail和FTP等)和一般应用。请注意应用群包含了所有的应用,而不只是共性的应用。应用群是各种应用的松散集合。服务团队是服务元的有组织的集合,它除了向本节点应用层提供服务外,还能和其它节点服务元合作向整个网络系统提供服务或向某一节点提供服务。

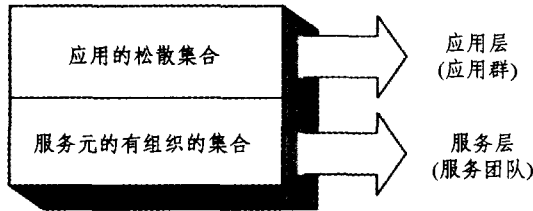


图1 服务元网络体系结构中的网络节点概念模型

2.2 微通信元网络系统简介

服务元和网络介质一起组成网络中的有源信道,完成网络数据包的传输。因为服务元由它所提供的服务定义,而一项服务可能包含一项或多项对数据包的操作,因此,在构建基于服务元体系结构的网络系统时,我们定义了一种新的实体—微通信元,微通信元是指完成对数据包的一项原子(不可分解)操作的实体,一个或多个微通信元配合可以完成一项网络服务。

微通信元既是网络节点组织和配置的最小单元,同时也是节点CPU调度的最小单元。我们把由大量微通信元组织构建的网络系统称为微通信元网络系统。微通信元网络系统是基于服务元体系结构的具体广域网系统的一种实现方案,这种网络系统具有配置灵活方便、安全性高等优点,特别适合一些大型专用计算机网络的需要。

3 微通信元网络系统的软件架构

在微通信元网络系统中,微通信元是由包处理过程的一项最小操作定义的实体,它完成的最小包处理操作包括:修改包的某个数据域、将包置入队列等。微通信元网络系统的软件架构中,一个微通信元对象是某个微通信元类的实体,被作为一个相对独立的软件对象来实现。网络节点由微通信元对象组织构成,其配置图是一个由微通信元对象沿数据流方向连接而成的有向图。网络节点的软件架构分为配置程序和微通信元软件模块两部分,配置程序在初始化时将多个微通信元对象按配置图组织,从而可以根据不同的需要灵活构建各种类型的网络节点。

3.1 微通信元的软件实现

微通信元软件模块是微通信元系统软件架构中的主要组成部分,下面我们介绍它的几个重要属性:

1) 微通信元基类

每一个微通信元对象都是某个微通信元类的实体,而微通信元类均是通过从微通信元基类继承并扩展而实现的,微通信元基类中封装了微通信元对象的一些共有的部分,如初始化过程、数据传输接口等。

2) 端口

一个微通信元对象可能具有多个输入和输出端口。微通信元对象之间的连接是从一个微通信元对象的输出端口到另一个微通信元对象的输入端口,数据包通过端口在微通信元对象间传输。端口是由微通信元类中的成员函数来实现的。

3) 配置参数

一个微通信元类包含几个特殊的数据成员,它们被称为微通信元的配置参数。在系统初始化时,这些参数用来设置微通信元对象的某些状态。

4) 接口方法

每一个微通信元类都提供多个接口方法,用于微通信元对象之间的交互或者配置程序与微通信元对象之间的交互。这些接口方法包括数据传输接口、初始化接口、调度接口、以及特定的其它接口。

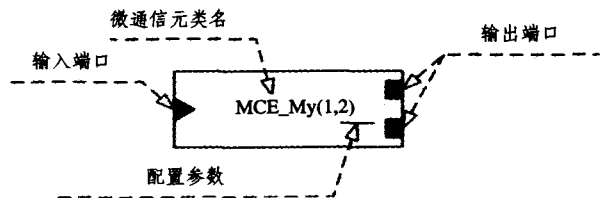


图2 微通信元对象示意图

图2表示的是一个简单的微通信元对象的组成,“MCE_MY”是该微通信元类的名称,“1,2”是该对象的配置参数值,表示该对象配置为具有一个输入端口和两个输出端口。该对象的功能是将从上游收到的数据包按一定规则分为两类发送到下游微通信元,除了数据传输接口外,该对象的其它接口我们并没有标明,但并不代表它们不存在。微通信元对象类都是从微通信元基类继承而来的,用户可以很容易地根据自己的需要,写出自定义的微通信元类,完成用户定义的特殊功能。因此,这种软件架构具有良好的可扩展性。

3.2 微通信元网络节点的软件模型

在微通信元网络系统中,网络节点由微通信元对象组织构成,微通信元对象的工作情况决定着网络节点的性能。每一个微通信元对象完成网络节点中的一个包处理操作,这些操作具体包括:网络接口处理、队列操作、QoS控制、优先级调度等。这些操作对应的代码实现封装在不同的微通信元类中,外界只能通过微通信元对象提供的接口方法来访问微通信元对象。

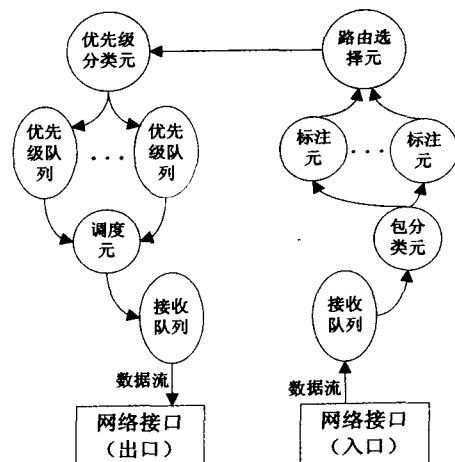


图3 微通信元网络节点的配置示意图

图 3 是微通信元网络系统中的一个网络节点的配置示意图。为了便于理解,我们简化了网络节点的功能,在该节点中,我们定义了网络接口元、队列元、分类元、标注元、路由选择元、优先级调度元等微通信元类。由图 3 所配置的网络节点的包处理流程如下:数据包由网络接口元从网络介质接收,放入接受队列元;包分类元从接受队列中取出数据包,按其种类传到不同的标注元完成包的标注,再交给路由选择元选择网间递交路由;路由选择元选路后,将包交给优先级分类元,优先级分类元按优先级将包送入不同的优先级队列元;优先级调度元按一定的调度算法从优先级队列元取得数据包,送到发送队列元;最后网络接口元把发送队列元中的数据包发出到网络介质。

3.3 微通信元网络节点的 CPU 调度

微通信元网络节点中用一个任务队列来实现 CPU 调度的管理。任务队列中的一个元素对应某个微通信元的处理请求,网络节点在 CPU 空闲时按顺序循环地分配 CPU 给任务队列中的第一个元素对应的微通信元。因此,微通信元既是网络节点组织和配置的最小单元,同时也是节点 CPU 调度的最小单元。

任务队列中的一个元素一般是某个微通信元的主动处理请求,但大部分微通信元并不会出现在任务队列中,因为被动接受数据的微通信元是直接由上游微通信元递交 CPU 的占用权,不需要专门的调度,只有主动提出处理请求的微通信元(如调度元)才会向任务队列提出一个申请。网络节点的软件是作为一个单独的线程运行的,运行时微通信元占用 CPU 进行包处理被设置为原子操作,不会受到软中断的影响,因此可以大大提高网络节点的处理效率。

4 实验分析

微通信元网络系统是一种全新的网络系统,它的软件部分将实现数据分类、优先级调度、路由选择等功能。我们为了验证微通信元网络系统的软件架构的性能,在 Linux 内核态下编写了相应的微通信元软件模块来模拟路由器的工作。

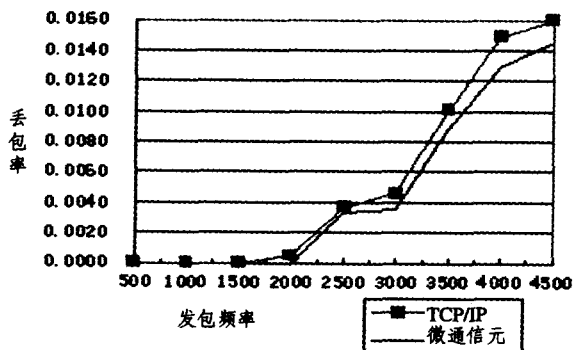


图 4 微通信元模拟路由器的转发比较实验图

另外,为了与 TCP/IP 网络进行比较,同时实现了基于 TCP/IP 协议栈的模拟路由器。我们的实验环境是在 10M 局域网中,用单路由器在两主机间进行 1K 包的转发比较实验。实验中定义了两个参数:

$$\text{发包频率} = \text{发包数} / \text{每秒}$$

$$\text{丢包率} = \text{丢包总数} / \text{发包总数}$$

每种发包频率共发包 100 万个,然后统计丢包率,实验结果如图 4 所示。

从图 4 我们可以看出,当发包频率较低时(<1500),两种模拟路由器均可以很好地工作;当发包频率超过 2000 时,两种模拟路由器均开始出现丢包现象;例如当发包频率为 4000 时,微通信元模拟路由器的丢包率为 0.0129, TCP/IP 模拟路由器的丢包率为 0.0145。实验结果显示,在同样的发包频率下,微通信元模拟路由器的丢包率要少于 TCP/IP 模拟路由器。

基于服务元体系结构的微通信元网络系统是一种无层次的网络结构,同时采用面向对象的思想来设计软件架构,因此相对于 TCP/IP 网络而言,其缓冲机制更简单,冗余计算更少,配置也更方便。通过模拟转发实验结果证明,微通信元模拟路由器的性能优于 TCP/IP 模拟路由器。

结论 在对服务元网络体系结构和微通信元网络原型进行充分研究的基础上,本文提出了一种新型的特别适合微通信元网络系统的软件架构。这种新型的软件架构具有灵活、安全、高效、易于扩展和配置方便等优点,特别适合构建模块化的,具有面向对象特征的微通信元网络系统。经过与 TCP/IP 的模拟路由器进行比较实验,结果证明采用本文提出的新型软件架构的微通信元模拟路由器具有更好的性能。

参 考 文 献

- 1 Clark D, Tennenhouse D. Architectural Considerations for a New Generation of Protocols. In: Proc. of Sigcomm-90, 1990. 200 ~ 208
- 2 Tennenhouse D, Wetherall D. Towards an Active Network Architecture. Computer Communication Review, 1996, 26(2)
- 3 Lazar A. Programming Telecommunication Networks. USA, In: Proc. 5 th International Workshop on Quality of Service 1997. 3 ~ 24
- 4 Braden B, Faber T, Handley M. From Protocol Stack to Protocol Heap - Role-Based Architecture. First Workshop on Hot Topics in Networking, Oct. 2002
- 5 曾家智,等. 服务元网络体系结构和微通信元系统构架. 电子学报, 2004, 32(5): 745~749
- 6 Zeng Jiazhi, et al. Micro-communication Element System. In: Proc. of PDCAT-2004, Dec. 2004