

综 述

Comprehensive Review

群组通信研究^{*}

史美林 向 勇

(清华大学计算机科学与技术系 北京 100084)

摘 要 计算机网络的发展使通过网络相连的计算机集合成为一个相互协调的统一整体,并为人类群体成员间的协作配合提供新的工具。目前计算机网络中有关群组通信的研究十分活跃,是计算机网络研究的关键技术之一。群组通信(Group Communication)为分布式文件系统、分布式数据库系统、并行计算、容错系统和计算机协同工作系统等各种分布式应用系统提供所需的通信服务。本文从数据传输的角度分析了群组通信的特征,提出了群组通信的体系结构,并综述了相关的最新研究成果。群组通信要解决的主要问题包括:(1)扩展主机和路由器功能,以支持多目标分组的发送、转发和接收。(2)引入资源预留机制,以有效地控制网络带宽等资源的分配。(3)提供可靠群组通信机制。(4)利用群组通信功能提供各种应用系统所需的通信服务。

关键词 群组通信 计算机网络 计算机协同工作 多媒体通信

Group Communication

Shi Meilin Xiang Yong

(Department of Computer Science & Technology, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract With the development of computer network, the set of computers connected with network is becoming a cooperative whole entity and providing a new kind of tools to coordinate human group. Currently, Group communication is an active area and key technique in the field of computer network. The object of group communication is to provide special communication service for distributed application systems, such as distributed file system, distributed database system, parallel computing, fault tolerance system and CSCW. This paper has analyzed the data transport characteristics of group communication, proposed an architecture for group communication and reviewed the latest research work in this area. The main issues in group communication are 1) Functional extension of hosts and routers. Its object is to provide the function for the sending, forwarding and receiving of multicast packet. 2) Resource reservation mechanism. Its object is to efficiently control the allocation of resource, such as network bandwidth. 3) Reliable multicast mechanism. 4) Communication service for distributed application systems supported by group communication.

Key words group communication, computer network, CSCW, multimedia communication

1 前言

随着计算机技术和计算机网络技术的发展,相互独立的计算机正通过计算机网络连成一

^{*} 国家自然科学基金资助项目

个整体,任何计算机间都可方便地进行信息交流。这向我们提出了新的挑战——利用计算机及其网络来改进人类群体成员间的协作关系,使人类成为一个更加紧密的协作群体^[1]。这要求我们把通过计算机网络相连的若干计算机组成一个协作群体,并通过这个计算机群体进一步改进人类群体成员间的协作。在分布式文件系统、分布式数据库系统、并行计算和容错系统中,我们的研究目标是把计算机集合变成一个协作的群体,实现计算机间的协作,这些协作对于人们是透明的;而 CSCW 则是以利用计算机及其网络来改进人类群体成员间的协作关系为目标。通信问题在这些研究中具有重要地位。

计算机网络是指自主的计算机通过通信介质相连而形成的计算机的集合,实现计算机间的互连(interconnection)、互操作(interoperation)和协同工作(interwork)。互连使计算机间可交换信息,这种信息交流具有快速、准确的特点。互连拓宽了每台计算机可利用的信息,一台计算机可迅速得到其它计算机的信息,实现信息共享。互操作使一台计算机不仅可利用其它机器的信息,还可利用其它机器的处理能力和软件,进行数据处理。协同工作是协调多台计算机的工作,以共同完成一项任务。

在分布式文件系统、分布式数据库系统、并行计算和容错系统等应用中,为了协调系统内各机器的操作,必须在系统内各机器间提供高效的通信服务。在这些系统中要进行各计算机间的操作协调,主要的通信是点到点通信,通信模式主要是客户/服务器(client/server)模式,对于其中的群组通信也采用点到点的方式来实现。随着研究的深入,已有一些工作^[2,3]讨论如何提高这些系统中的群组通信效率。

计算机协同工作(CSCW, Computer Supported Cooperative Work),也称计算机支持的协同工作,是在近十多年来发展起来的多学科交叉的新研究领域。CSCW研究如何利用计算机及计算机网络支持地理位置分布分散的人类群体协调配合,共同完成一项任务的技术。CSCW的研究内容包括人类群体的协作交流模式和支持人类群体协同工作的技术。群体协作模式的研究涉及社会学、心理学、管理科学等多学科,影响人们对 CSCW 系统的接受程度。支持 CSCW 的技术包括计算机网络、多媒体、分布式处理、人机接口等技术,其中计算机网络技术是一个重要的方面^[4]。

在实现计算机间的互连和互操作之后,计算机网络的发展必然走向计算机协同工作,而要达到计算机协同工作的目标也必须以计算机网络技术的强有力支持为基础。

2 群组通信体系结构

2.1 群组通信特征

群组通信有多种层次,从广义的角度来讲包括各种层次的通信群组内各通信实体间的通信。如应用系统中各进程间的信息交流、操作系统层次各进程间的协调和数据传输层次的信息传送。在应用系统和操作系统层次上讨论的进程可能在一台机器中,也可能在不同的机器上,它们之间的群组通信主要体现为系统的控制策略。我们主要是从数据传输的角度来讨论群组成员间通信问题。这里讨论的群组通信是指把数据分组(称为多目标分组)传送到一个由若干台计算机组成的集合的所有成员。群组通信是对传统的计算机网络概念的发展,需要引入一些原来没有或不重要的新特征。这也是群组通信研究的出发点和目标。

(1) 点到多点通信:已有的计算机网络技术,特别是开放系统互连参考模型(OSI/RM)中主要考虑的问题是点到点的通信,这是计算机网络在互连和互操作情况下的主要通信模型。但在计算机协同工作时,要协调的不仅仅是两台计算机间的信息交流,而是一个计算机群体的同

时协调工作, 需要提供高效的点到多点通信能力。

(2) 多媒体通信: 群组通信不仅要协调计算机群体的行为, 而且要通过计算机及其网络来协调人类群体的行为。人类群体行为的协调通常包括音频、视频等多媒体信息的实时传送, 要进行大量多媒体信息的实时截获、传送和对地域分布分散的多个用户的播放, 这对网络带宽和延时提出了更高的要求。

(3) 复杂的用户环境和网络环境: 与点到点通信相比, 群组通信面临更加复杂的用户环境和网络环境。同一群组中各用户可能在机器类型、操作系统、外设性能 (如显示分辨率和颜色)、CPU 处理能力等方面存在巨大差异; 连接各用户的各段网络会在带宽、延时和误码率等方面存在差异。这给群组通信带来很大影响, 群组通信对计算机网络提出了更高的技术要求。

已有的研究工作表明, 现有的网络通信协议不能满足群组通信的全部要求, 由此引发了对群组通信协议的研究。

2.2 群组通信体系结构

基于对群组通信特征的分析, 在群组通信中要解决以下一些关键问题:

(1) 群组管理: 群组地址分配、群组的建立、群组的关闭、群组成员的动态加入和退出、错误恢复等群组的管理功能。通过为特定群组分配的群组地址, 所有发送到该群组的多目标分组都以这个群组地址为接收方地址, 所有该群组成员都接收发送到该群组的数据^[5]。

(2) 资源分配: 为了保证实时多媒体信息的有效传送, 需提供相应的资源预留机制, 确保有足够的可用资源 (如传送带宽、路由器的转发能力、用户机器的处理能力等)。

(3) 群组通信的服务质量 (QoS, Quality of Service): 网络拥塞和缓冲区溢出会导致数据丢失, 许多 CSCW 应用 (如共享白板和协同设计) 要求可靠的数据传送, 丢失的数据必须由发方重传。通过群组通信的流控和重传机制可有效地减少拥塞和重发, 提高网络效率, 提供可靠的群组通信。

针对群组通信中所面临的问题, 我们把群组通信体系结构划分成一个 4 层结构:

(1) 主机及路由扩展子层: 其功能是有效地建立从发送方到接收群组各成员的多目标分组传送路径。实现多目标分组的收发要涉及发送方和接收群组各成员主机, 及中间的转发路由器。它要求扩展网络层中主机的现有分组收发功能, 支持收发多目标分组; 扩展网络层中路由器的现有分组转发功能, 添加群组通信路由算法, 支持多目标分组的转发。

(2) 资源预留子层: 其功能是改善多目标分组发送在带宽和延时等方面的性能, 保证群组通信的有效进行。为了实现多媒体信息在复杂网络环境中的实时有效传送, 须对有限网络资源的使用进行控制。对于通信支持而言, 主要是引入网络带宽和转发缓冲存储器的预约使用; 引入分组优先级机制, 在高带宽网络向低带宽网络转发时过滤掉次要的信息。

(3) 可靠传输子层: 通过群组通信各方的缓冲机制, 实现可靠的和有序的群组通信。这里的有序不仅要考虑同一发送方数据在各接收方的接收顺序, 在某些应用中还要考虑多个发送方到同一接收群组中各成员的总体接收顺序。

(4) 应用支持层: 提供面向各种应用的不同群组通信服务。如群组通信应用中的音频和视频信息传送及可靠的数据传送等。

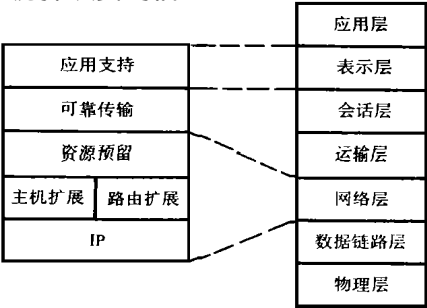


图 1 群组通信体系结构

系。主机及路由扩展子层和资源预留子层属于网络层,相当于从“点到点通信”到“点到多点通信”的扩展。可靠传输子层属于运输层和会话层,提供具有完善服务质量的群组通信。应用支持层属于表示层,提供面向应用的各种群组通信服务。

3 主机的扩展

主机扩展的目的是使主机具有收发多目标分组的功能。主机扩展的内容包括:群组地址管理、群组成员管理、多目标分组的发送和接收^[6]。

通信群组使用 D 类 IP 地址作为标识。群组地址可分成永久组地址和临时组地址。永久组地址是由管理机构预先分配的,它所对应的永久通信群组的成员没有限制,甚至可为 0 个成员。临时组地址指永久组地址以外的群组地址,可动态地分配给只在有成员时才存在的临时通信群组。

对应用程序使用的临时群组地址的动态分配方法没有统一的协议。目前最常用的方法是由应用程序随机分配。这种方法有可能因出现群组地址冲突而重新分配,直到找到一个空闲的群组地址时才完成分配。其它可能的方法还有:由上层的应用协议分配和向网络中相互联系的群组地址分配服务器申请临时组地址。这方面的研究还在进行中,由群组地址分配服务器分配地址的方法是较理想的方案。

按数据的收发,群组通信涉及的机器可分为发送方和接收群组成员。只有在一台机器加入一个接收群组后和退出该群组前的这一段时间内,才能接收发送到该接收群组的多目标分组,而对多目标分组发送方,并不要求它一定是相应接收群组成员。

发送多目标分组与发送一般 IP 分组有一定区别,主要区别体现在以下几个方面:(1) 目标地址是 D 类 IP 地址。(2) 需指定发送分组的生存期 (TTL, time-to-live)。(3) 当一台机器同时有多个网络接口时,需指定发送多目标分组的网络接口。(4) 当发送方同时是该组接收群组成员时,应向本机高层回送该多目标分组的一个副本。

接收多目标分组与接收一般 IP 分组基本类似。为了能收到多目标分组,高层实体必须要求 IP 层加入相应接收群组,IP 层应扩展相应的加入组和退出组操作。

4 路由扩展——群组通信的路由

群组通信的路由算法是要确定从多目标分组的发送方到接收群组各成员的多目标分组分发树。为了提高分发效率,路由算法必须在保证接收群组所有成员都能接收到发送到该群组的多目标分组的条件下,尽量减少网络资源占用量和多目标分组的发送范围。

多目标分组发送范围的限制方法有修剪多目标分组分发树和限制多目标分组生存期两种。修剪多目标分组分发树,是通过路由算法来尽量使多目标分组只向接收群组成员分发,从而提高网络效率。限制分组生存期,是通过设置每个转发端口 (downstream interface) 和转发节点 (downstream neighbor) 的 TTL 值,限制小生存期分组不向远的接收群组成员转发,从而避免浪费网络带宽。

4.1 群组通信路由算法

现有的主要多目标路由算法包括:扩散 (Flooding) 算法、分发树 (Spanning Tree) 算法、逆向路径广播 (RPB, Reverse Path Broadcasting) 算法、修剪的逆向路径广播 (TRPB, Truncated Reverse Path Broadcasting) 算法、逆向路径多目标发送 (RPM, Reverse Path Multicast) 算法、核心分发树 (CBT, Core-Based Tree) 算法。

4.1.1 扩散算法

最简单的多目标分组发送算法是扩散算法。当路由器收到一个多目标分组时,它首先确定这是否是该分组的第 1 次出现。如果这是第 1 次收到该分组,路由器向除接收端口外的所有端口转发该分组,保证该分组到达网络上的所有路由器。如果不是第 1 次收到该分组,它简单丢弃该分组。

由于路由器只需跟踪最近收到的多目标分组,不需维护路由表信息,扩散算法的实现是十分简单的。因为扩散算法会在网络上所有可用的路径上复制同一个多目标分组,浪费网络带宽资源,因而不适用于 Internet 范围的应用。由于每个路由器都要维护最近收到的多目标分组列表,占用大量路由器内存资源。

4.1.2 分发树算法

比扩散算法更有效的一个算法是选择网络拓扑连接结构的一个子集,形成一个分发树。分发树是在网络中定义的一个以路由器为中间节点的树状结构,使得网络中任何两个路由器在分发树上只有一条唯一的路径相连。

在定义了分发树后,路由器简单地转发每个多目标分组到除接收到该分组的网络接口外的每个分发树分支的网络接口。沿着分发树分支的多目标分组传送保证多目标分组不构成循环,并且网络中各路由器都可收到每个多目标分组。

分发树算法很有效,并相对容易实现。但它的问题是把所有分组的传送集中到少量链路上,并且不是从发送方到接收群组成员的最优路径。

4.1.3 RPB 算法

分发树算法是为整个网络构造一个唯一的分发树,RPB 算法则是分别为每个发送方所在子网构造以该子网为根的分发树。

如果路由器可确定本身是否位于从发方子网到另一个相邻路由器的最短链路上,RPB 算法可修改成为改进的 RPB 算法。这种改进可减少不必要的多目标分组复制。

RPB 算法的好处是比较有效和易于实现。它不要求路由器了解整个分发树,不需要某种机制停止转发过程。它保证多目标分组的转发是沿着从发方到接收群组成员的最短路径进行的。多目标分组的转发是在多条链路上进行的,从各发方子网出发的分发树是不同的,网络负载较均衡。

RPB 算法的缺点是它在生成分发树时没有利用接收群组成员的位置信息,导致多目标分组被不必要地转发到没有接收群组成员的子网上。

4.1.4 TRPB 算法

TRPB 算法的设计是为了克服 RPB 算法的缺点。路由器利用互连网群组管理协议 (IGMP, Internet Group Management Protocol) 可确定直接相连子网上是否有接收群组成员,避免向直接相连而没有接收群组成员的子网转发分组。

TRPB 算法的缺点是它只部分地解决了 RPB 算法的问题,可修剪掉没有相应接收群组成员的叶子网,但无法修剪分发树的分支。

4.1.5 RPM 算法

RPM 算法是对 RPB 算法和 TRPB 算法的改进。RPM 算法生成的分发树只包括: 1) 有接收群组成员的子网 2) 从发方子网到有接收群组成员子网的中间路由器和子网。RPM 算法对分发树进行修剪,以使多目标分组只向接收群组成员转发。

对于一个特定的 (source, group) 对,路由器收到的第 1 个多目标分组是沿 TRPB 算法生

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

成的分发树转发,保证分发树中每个叶路由器都可收到第 1 个多目标分组。随后通过在分发树上路由器间传送修剪报文,停止向没有接收群组成员的分支转发相应的多目标分组。修剪报文的生成和传送使多目标分组分发树只包含能通向接收群组成员的分支。

RPM 算法的优点是网络带宽资源的利用率极高。它的缺点是试图在整个网络上建立多目标分组发送服务时的可扩展性问题。多目标分组必须周期性发送到整个网络上的所有路由器。它要求每个路由器维护所有接收群组和发送方的状态信息。当接收群组和发送方的数目扩大时,这是一个很大的问题。

4.1.6 CBT 算法

CBT 算法不是为每个 (source, group) 对计算一个以发方为根的分发树,而是针对一个接收群组和它的所有发送方建立一个分发树。除了为每个接收群组设置不同的核心分发树外, CBT 算法类似于分发树算法。不管发送方的位置如何,一个接收群组的所有多目标分组都通过相同的分发树传送。一个核心分发树有一个或多个路由器作为“核心路由器 (core router)”。发送方的多目标分组被路由器以点到点的方式向该接收群组的核心路由器传送。当遇到相应接收群组分发树的路由器时再沿分发树向所有接收群组成员传送。

CBT 算法的优点是可扩展性比 RPM 算法好。CBT 算法只需要每个接收群组有一个路由器维护相应的群组状态信息,而不是每个 (source, group) 对的状态信息。CBT 算法也不会周期地把多目标分组传送到整个网络的所有路由器。

CBT 算法的缺点是 (1) 多目标分组的转发集中在核心路由器周围,会形成拥塞。(2) 由于同一接收群组的所有多目标分组都从一个分发树传送,分发树不是最短路径。这会增加多目标分组的传输延时。(3) 核心路由器的位置选择和管理会带来管理上的困难。

4.2 群组通信路由协议

目前主要的群组通信路由协议有:距离矢量多目标路由协议 (DVM RP, Distance Vector Multicast Routing Protocol)、开放的最短路径优先多目标路由协议 (MOSPF, Multicast extension to the Open Shortest Path First routing protocol)、与下层协议独立的多目标路由 (PIM, Protocol-Independent Multicast) 协议和 CBT 协议等。

(1) DVM RP: DVM RP^[7] 扩展 IP 路由器支持多目标分组的转发,成为 DVM RP 路由器它采用的路由算法为 RPM 算法。

(2) MOSPF: MOSPF^[8] 扩展 OSPF v2 以支持群组通信。OSPF 是一种链路状态路由协议,它把网络分成若干自治系统 (AS, Autonomous System),自治系统内又分成通过一个骨干区域相连的若干区域。它有一个链路状态数据库对区域内拓扑结构提供了完全的描述; MOSPF 在数据库中扩充了一类新的 OSPF 链路状态,描述接收群组各成员的位置,从而可计算出一个以发方为根到接收群组所有成员的多目标分组分发树——最短路径树,没有接收群组成员的分支都被修剪掉。在一个区域内, MOSPF 的路由算法类似于 RPM 算法,但每个 (source, group) 对的第 1 个分组的发送不是采用 TRPB 算法,而是利用链路状态数据库计算发送路径。在自治系统内各区域间和自治系统间, MOSPF 采用扩散算法。

(3) PIM: PIM^[9] 在 Internet 上提供具有可扩展性的多目标路由。它有两种路由模式: 1) 密集模式 (PIM-DM, Dense Mode): 假设通信群组成员分布较集中,并且网络带宽是足够的,采用 RPM 算法。2) 稀疏模式 (PIM-SM, Sparse Mode): 假设通信群组成员的分布较分散,网络带宽不充足,采用算法类似于 CBT 算法。

(4) CBT: CBT^[10] 协议采用 CBT 算法,核心路由器的设置是人工进行的。

4.3 群组通信路由算法中存在的问题

上面这几种群组通信路由算法实现了群组通信,但还有一些问题没有很好解决

(1) 转发效率问题。DV MRP的第一个多目标分组必须转发到网络中的所有路由器;MO-SPF在区域间是以扩散算法转发多目标分组,在区域内要传送大量链路状态信息。只有充分优化网络拓扑结构信息和接收组成员分布信息的传输,并利用这些信息计算最优的多目标分组分发树,才能提高多目标分组的转发效率。

(2) 路由器管理问题。MO SPF的自治系统和自治系统内区域划分和 CBT的核心路由器指定,需要网络管理中心参与。必须尽量减少人工参与,才能使它们得到广泛应用。

(3) 各多目标路由协议的互连问题。目前的几种多目标路由协议都可与传统的网络层点到点路由协议相兼容,但没有考虑到它们间的互连和共存,这是一个必须解决的问题,否则新的群组通信路由协议无法真正实用。

5 群组通信中的资源预留

资源预留的目的是为了保证数据传送所需要的网络资源。对于群组通信,要在从多目标分组的发送方到接收群组所有成员的分发树经过的各主机和路由器上预留相应的资源,保证多目标分组的有效传送。信息过滤是在数据流从高速网络向低速网络转发时所采用的信息抽取技术,目的是在复杂网络环境下保证重要信息的有效传送。

5.1 资源预留

资源预留协议(RSVP, Resource ReSerVation Protocol)^[11]是主机及路由扩展子层上的一个子层,提供群组通信所需的服务质量,用于高层的数据传送。依据主机及路由扩展子层计算的多目标分组分发树,RSVP通过网络把有关资源预留的 QoS要求传送到分发树经过的各路由器节点及各收发方,在每个节点为多目标分组申请资源预留。

为了在一个路由器节点预留资源,RSVP模块要与路由器的资源管理模块和权限控制模块这两个控制模块联系。资源管理(admission control)模块确定在路由器是否有足够的可用资源来保证要求的 QoS;权限控制(policy control)模块确定用户是否有相应的资源预留权限。这两个模块的检查都通过了,才进行相应资源预留;否则 RSVP程序会向应用进程回送一个出错信息。RSVP通过分组分类(packet classifier)模块和分组发送安排(packet scheduler)模块中的参数设置得到要求的 QoS。分组分类模块确定每个分组的 QoS类型,分组发送安排模块通过调整分组的发送顺序来实现对每个数据流的 QoS承诺。

5.2 信息过滤(Filter)

当从高速网络向低速网络转发多目标分组时,带宽无法满足最高要求。为了保证实时性,只能丢弃部分次要信息。信息过滤的目的就是为了在网络带宽限制条件下,针对信息特点选择最优的信息丢弃和变换算法,保留尽可能多的有效信息,达到优化带宽利用、协调接收群组成员的不同环境、优化资源分配等。

信息过滤机制的研究目前集中在音频、视频等实时多媒体信息的压缩算法。一种方法是针对压缩算法的特征和丢弃与变换对信息播放的影响,给出相应的丢弃原则和变换算法;另一种方法是在压缩信息中引入优先级概念,重要特征信息的优先级高,次要特征信息的优先级低;过滤时按优先级大小顺序丢弃。

现有的主要信息过滤方法有三种:1)丢弃信息片段,如丢弃视频流中的一帧信息。这里的问题是许多视频压缩算法产生的帧序列是前后相关的。2)丢弃信息流中的次要特征,如丢弃视

频信息流中的彩色信息,仅保留灰度信息。这种方法中的信息抽取较复杂。3)信息压缩方式变换,如低压缩比方式到高压压缩比方式的变换。

6 可靠的群组通信

群组通信的可靠性服务质量向高层实体提供接收确认,并保证接收群组各成员一致的接收顺序。可靠多目标发送协议(RMP, Reliable Multicast Protocol)^[12]相当于运输层和会话层协议,提供多发送方到接收群组各成员的、可靠、容错、有序的信息传送。RMP的错误恢复对于应用程序是透明的。

RMP提供的QoS有以下几类:(1)无确认多目标发送(unreliable):收方可能收不到,收到一份或收到多份。(2)有确认多目标发送(unordered):收方至少能收到一份,但不保证接收顺序。(3)有确认有序多目标发送(source ordered):收方能且仅能收到一份。同一发送方的分组的发送和接收顺序相同,但不同发送方的分组在不同接收方的总体顺序可能不同。(4)完全有确认有序多目标发送(totally ordered):它把所有发送的分组排成一个顺序,按相同的顺序送到每个接收方。可理解成有一个群组中心,把各发送方的分组收集到一起,再分发给各接收方。收方能且仅能收到一份。同一发送方的分组的发送和接收顺序相同。多个发送方的分组在接收方的总体接收顺序相同。

7 各种应用中的群组通信支持

各种应用中的群组通信支持要考虑到各类信息的特点,针对各类信息的群组通信给出相应的分组格式和各字段意义约定,反映具体信息传送的需求。实时传输协议(RTP, Transport Protocol for Real-Time Application)^[13,14]就是针对实时视频和音频信息传输给出了一组分组格式,分组中不仅有压缩的视频和音频数据,还包括压缩格式、发送时间、分组序号、发送方信息(发送方标识、机器名、用户名、地理位置、电子邮件地址等)。这些约定对于不同类型系统间的群组通信是重要的。

8 结论

群组通信研究的目标是提供分布式文件系统、分布式数据库系统、容错系统、并行计算和CSCW系统等各种分布式应用系统所需的群组通信服务。群组通信要解决主机和路由器扩展、资源预留、可靠的群组通信和CSCW应用通信服务等问题。目前的研究工作主要集中在群组通信的路由算法和协议,而对群组通信中的资源预留和可靠传输的研究还很不成熟。目前的研究结果并未很好地解决群组通信问题,还有待进一步拓展现有的计算机网络概念,改进解决方案,以推动群组通信研究和应用的发展。

参 考 文 献

- 1 史美林. CSCW: 计算机支持的协同工作系统. 通信学报, 1995, 16(1): 55~ 61
- 2 Xu H, Gui Y D, Ni L M. Optimal software multicast in wormhole-routed multistage networks. In Proceedings of Supercomputing 94, 1994, 703~ 712
- 3 Moser L E *et al.* Totem: a fault-tolerant multicast group communication system. Communications of the ACM, April, 1996
- 4 史美林, 向勇, 伍尚广. 协同科学——从‘协同学’到 CSCW. 清华大学学报, 1997, 37(1): 85~ 88
- 5 Braudes R, Zabele S. Requirement for multicast protocol. RFC1458, May, 1993

6

Deering S. Host extensions for IP multicasting. RFC1112, August, 1989

7

Pusateri T. Distance vector multicast routing protocol. Internet-Draft, Feb, 1996

8

Moy J. Multicast extensions to OSPF. RFC1584, March, 1994

9

Deering S, *et al.* Protocol Independent Multicasting(PIM): protocol specification. IETF Network Working Group, January, 1995

10

Ballardie A J. A new approach to multicast communication in a datagram internetwork. [PhD thesis]. Department of Computer Science, University College London, University of London, 1995

11

Braden R, *et al.* Resource ReSerVation Protocol (RSVP)—— Version 1 Functional Specification. Internet draft, November, 1996

12

Montgomery T. Design, implementation, and verification of the reliable multicast protocol", [Master thesis]. West Virginia University, 1994

13

Schulzrinne H. *et al.* RTP: A transport protocol for real-time applications. RFC1889, July, 1994

14

Schulzrinne H. RTP profiles for audio and video conferencing with minimal control. RFC 1890, 1996

(1997-09-06收到, 1997-09-25改定)