

一种复杂的动态实时强协同的协作系统的研究

王晓东, 周兴铭, 徐 明

(国防科技大学计算机学院国家并行与分布处理重点实验室, 湖南长沙 410073)

摘 要: 经典的协作模型不能满足复杂的协作应用在动态性、实时性以及分布决策的强协同等方面的需求. 本文针对复杂的动态实时强协同的协作系统, 研究并构造了与之相适应的协作模型 DReaSCoM (Dynamic Real-time Strong Cooperation Model). 该模型在扩展的层次式“群簇”结构中实现了群体内和群体间纵横交错的强协同协作, 提高了系统的协作效率和容错能力, 具有良好的应用价值.

关键词: 计算机支持协同工作; 动态; 实时; 强协同

中图分类号: TN311 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 02-0173-04

Study on a Complicated Dynamic Real Time Strong Cooperation System

WANG Xiao-dong, ZHOU Xing-ming, XU Ming

(National Laboratory on Parallel & Distributed Processing, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract: Conventional cooperation model can not be applied in modern complicated cooperative systems. According to the requirements of complicated cooperative applications, a dynamic real-time strong cooperation model, DReaSCoM is proposed in this paper. Based on this model, horizontal intragroup cooperation and vertical intergroup cooperation can be implemented in Group Cluster, a new hierarchical structure constructed for the model. The efficiency and fault-tolerant of cooperative systems, applied within the DReaSCoM model, can be both improved.

Key words: computer supported cooperative work (CSCW); dynamic; real time; strong cooperation

1 引言

自从计算机支持协同工作 CSCW 概念提出以来, 随着计算机网络的飞速发展和广泛应用, CSCW 协作技术成为研究热点, 并在多媒体合著、办公自动化、协作式信息系统等诸多领域得到广泛应用^[1-12], 其协作方式主要可以归纳为集中式和分布式两类.

集中式协作呈现出“决策-协作-信息汇集-再决策”的阶段特性, 其决策难以跟上环境的动态快速变化, 实时性较差; 系统对集中控制的协调者依赖性较大, 要求其具有更强的通信和信息处理能力; 容易成为系统的瓶颈, 系统的容错能力弱. 分布式协作避免了系统对集中控制的协调者的依赖性, 改善了系统的容错能力, 但是难以描述复杂结构的协作群体, 而且协商过程对成员的通信能力有较高要求, 协商的收敛过程慢, 无法保证动态环境下的协作效率.

与当前经典的协作应用相比, 现实世界中还存在更复杂的协作应用系统, 对协作提出更高的要求:

协作的复杂度更高, 涉及到多个协作群体之间的协作; 成员与环境之间构成一个信息闭环, 成员根据环境变化及时调整协作决策, 保持协作行为连续不断的有效性; 协作决策能力在协调者的集中指导下分布到各个协作成员, 除了上下级之间的纵向协作控制, 更强调群体内成员之间横向的自主协作

能力; 要求具有很强的差错控制、恢复能力, 和在恶劣环境下的生存能力.

这类协作系统广泛应用于各种领域, 如军事领域中的协同作战指挥系统、民用领域中的抗洪抢险指挥控制系统、复杂的电子商务系统等. 美国海军经十几年努力研制成功并已装备的“CEC 协同作战能力”系统就是这类系统的一个典型.

本文构造了一种支持网络环境下动态、实时的强协同的协作模型 DReaSCoM (Dynamic Real-time Strong Cooperation Model), 提出了扩展的层次结构“群簇” (Group Cluster), 建立了协作成员的信息和功能模块结构, 设计了群体内的横向协作机制和群体间的纵向协作协作机制.

2 复杂的动态实时强协同协作系统

首先给出整个协作系统及其参量化描述, 如图 1.

协作系统可以用一个五元组 $Fr = \langle Op, G, S, \leq, > \rangle$ 来表示, 其中:

$Op = \{i | i \text{ 是系统内的协作成员}\}$, 系统中允许成员的动态加入和退出;

$G = \{g | \text{系统内需要实现的目标}\}$, 系统中允许目标集 G 的增加、删除和动态修改;

$S = \{s_g | \text{实现目标 } g \text{ 所需的场景}\}$, 其中的场景 s_g 允许因为外部因素的影响动态变化;

(即第 $i-1$ 级协作成员) 协作任务 $Task_{i-1}$ 的子集。

协作环境信息即成员遂行协作的外部环境, 它包括两方面信息: 一是包含了该成员所承担任务 $Task$ 的外部执行环境, 反映其协作状态的场景信息 $Scene$; 另一方面是包含整个群体所处的外部环境, 反映群体协作任务 $GroupTask$ 完成状态的群体协作场景 $GroupScene$ 。其中, 群体中各成员所拥有的场景信息 $Scene$ 分别是群体协作场景 $GroupScene$ 中的局部, 并有以下关系成立:

$$Scene_i \subseteq GroupScene, \text{ 并且 } \bigcup_{i=1}^n Scene_i = GroupScene$$

其中, 群体协作场景 $GroupScene$ 是综合了群体内所有成员协作场景 $Scene$ 的全局场景, 是群体中各成员确定相互协作关系的信息基础。

3.1.2 协作成员的功能结构

协作成员的功能包括对外界环境的实时感知, 与其他成员的信息交互, 协作决策的制定、规划和执行, 协作过程中对协作决策的自主调整等方面。这决定了其与之相适应的功能结构(如图 2 所示)。

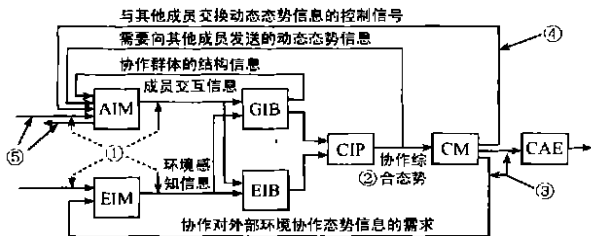


图 2 协作成员功能结构示意图

AIM (Agent Interaction Management) 成员交互管理模块, 对协作成员与群体内其他成员(包括上级成员)之间的信息交互实施管理; EIM (Environment Interaction Management) 环境交互管理模块, 对协作成员从外部协作环境获取协作信息实施管理; GIB (Group Information Base) 群体信息库, 存储协作群体的有关信息, 包括群体的组织构成、群体协作任务、协作决策等; EIB (Environment Information Base) 环境信息库, 存储有关外部协作环境的信息, 主要包括协作环境的状态信息及其在协作过程中所发生的动态变化等; CIP (Cooperative Information Processing) 协作信息综合处理模块, 主要实现对 EIB 和 GIB 中协作信息的处理, 如信号滤波、消噪、数据的对准和同步、数据的转换等, 生成综合的协作态势信息, 供制定协作决策所使用; 另外, CIP 模块还保存了局部协作环境在协作过程中的动态变化信息, 一方面用于评估协作决策在动态环境中的协作效率, 另一方面, 在成员调整其协作决策时, 群内所有成员相互交换各自保存的局部动态信息, 以生成最新的综合态势信息。CAE (Cooperative Activity Execution) 协作行为执行模块, 是成员协作行为的最终执行者, 按照 CM 所制定的协作决策, 执行相应的协作行为。

CM (Cooperation Management) 协作管理模块, 是协作成员的核心功能模块, 主要负责协作成员在协作群体中按照遵循的协作规则和上级的协作意图作出决策, 并根据协作态势的变化作自主调整, 它具有如图 3 所示的内部结构。CM 主要由协

作引擎 CE 模块 (Cooperation Engine) 和协作效率评估 CEE 模块 (Cooperation Efficiency Evaluating) 构成, 实现以下几方面功能: CE 协作引擎模块基于综合态势信息, 生成成员的协作决策; 根据协作决策, 指导 EIM 模块对协作中所涉及的协作环境进行信息获取; CEE 协作效率评估模块接收 CIP 协作信息处理模块提供的动态信息, 对 CE 协作引擎模块所制定的协作决策进行效率评估, 当协作效率因为不适应协作态势的动态变化而降低到一定限度时, CEE 模块将控制 AIM 信息交互管理模块完成与友邻成员之间的动态态势信息交互。

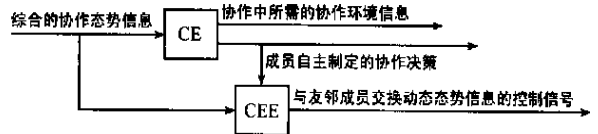


图 3 CM 功能模块结构示意图

3.1.3 协作成员的内部工作机制

协作成员的协作机制是在其各功能模块相互作用的基础上实现的, 下面结合图 2 加以分步说明。

①成员通过 AIM 和 EIM 分别从上级成员、友邻成员以及外部环境接收协作的相关信息, 并送至相应的信息库中存储, 为制定协作决策提供信息基础;

②协作信息处理模块 CIP 对信息库 GIB 和 EIB 提供的信息进行全局综合处理, 生成制定协作决策所需的综合态势信息;

③协作管理模块 CM 中的协作引擎 CE 根据 CIP 提供的综合态势信息, 制定自身的协作决策, 指导协作行为执行模块 CAE 控制自身的协作行为, 并指导 EIM 模块对协作中有关的态势信息进行获取;

④根据 CIP 模块所提供的动态协作信息, 协作效率评估模块 CEE 对成员自身所执行的协作决策进行效率评估, 当协作效率降低到一定限度时, CEE 模块将控制 AIM 模块完成与群体内其他友邻成员之间的动态态势信息交换;

⑤AIM 模块根据 GIB 提供的协作群体构成信息, 对成员与群体内其他成员之间的通信进行组播、同步等控制, 一方面从群体内所有友邻成员接收动态信息, 另一方面从上级成员接收协作意图信息, 供成员重新制定与动态变化的协作态势相适应的协作决策时使用。

3.2 扩展的层次式“群簇”结构

传统的层次式结构由于缺乏横向联系, 从而不适应分布式自主协作的应用特点。为此, 本文对其加以扩展, 建立一种新的层次结构——群簇 (Group Cluster)。

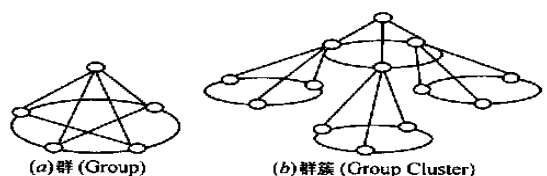


图 4 群簇结构示意图

群簇的基本组成单元是如图 4(a) 所示的群 (Group)。一个

群包含若干协作成员和一个公共上级成员。与传统层次结构不同的是,群中所有成员均有直接通信路径相连,从而增强了成员的通信能力。对群作层次递归式扩展,即可形成如图 4 (b) 所示的群簇。在群簇中,我们通常把下级群体中的公共上级成员看成上级群体的协作成员。

3.3 强协同的协作机制

动态场景下群体内各成员对协作决策的实时调整表现出不同于一般协作系统的强协同特性,这主要从群体内横向的自主协作以及群体间的纵向协作两方面得到体现。在如图 4 (a) 所示的一个群内的所有成员(上级成员除外)之间所进行的协作即为横向的自主协作。在群内某个成员所处的局部场景发生动态变化的过程中,该成员将实时评估其局部场景的变化对其协作决策的影响。当其协作效率严重降低时,该成员将要求群体内所有成员交换各自局部场景的最新信息,以建立综合了动态变化的全局场景,并调整或重新制定各自的协作决策,使其与动态变化的场景保持一致。这种群内成员的信息交换以及对协作决策所作的调整,完全是由群体内的协作成员根据协作进程自主完成的,无需上级成员的参与和控制,因而具有灵活、高效、容错能力强的特点。

群体间的纵向协作是在由多个群体构成如图 4 (b) 所示的层次式群簇结构中执行的。在一个群 G 内的横向自主协作中,该群的上级成员 C_G 作为上一级群体 G_0 的协作成员,也在对其所协调群体的协作效率进行评估。在群 G 内各成员交换动态场景信息、建立新的全局态势,并相应调整各自协作决策的同时,上级成员 C_G 也要对整个群体在动态变化的协作场景中的协作效率加以评估。如果整个群体的协作效率都因为协作场景的动态变化而严重降低,上级成员 C_G 将在群体 G_0 范围内要求进行更高层次的协作决策自主调整。

强协同的协作机制是协作模型 *DReaSCoM* 的核心,它实现了当前协作模型所无法实现的自主式、层次式的纵/横向交错的强协同协作机制:

群体内成员可以根据自身所掌握的、有关群体的全局态势信息实时监测其协作效率,并加以自主调整,无需上级成员的控制,既提高了系统协作行为对动态环境的响应能力,又增强了系统的容错能力;

动态变化的场景对系统协作行为的影响是按照层次关系从下至上产生的,既提高了在动态环境下协作的实时性能,又避免了局部动态变化对全局协作不必要的干扰,符合应用系统层次式控制的需求。

4 结束语

本文针对复杂的动态实时强协同的协作系统这一应用背景,研究并提出了与之相适应的协作模型 *DReaSCoM*。与传统协作模型相比,其特点表现为:

提高了协作系统对动态环境的快速反应能力,增强了协作的实时性能;

协作成员与协作环境之间的信息闭环,使协作成员能够根据协作态势的变化实时调整其协作决策,保持协作行为连续不断的有效性;

分布的成员自主决策降低了系统中集中控制的协调者的功能复杂度,从而提高协调者的控制效率;

群体内成员之间的横向联系既增强了成员的通信和协作能力,又在群体内增加了冗余通路,增强了系统的差错控制和恢复能力,以及在恶劣环境下的生存能力。

模型中的有关协作机制在我们开发的原型系统中得到了验证。我们的下一步工作将结合我们针对的具体应用问题,研制相关的应用系统原型。

参考文献:

- [1] Mariani J, Roddon T. Cooperative information sharing: developing a shared object service [J]. The Computer Journal, Dec, 1996, 39(6): 455-470.
- [2] A Prakash, et al. DistView: support for building efficient collaborative applications using replicated objects [A]. in Proc. of ACM CSCW'94 [C]. Chapel Hill, NC, USA: 153-163.
- [3] Marian H Nodine, et al. A Cooperative Transaction Model for Design Database in Database Transaction Models for Advanced Applications [M]. Morgan Kaufmann Publishers, 1996.
- [4] A J Boner. The power of cooperating transactions [DB/OL]. <http://www.cs.toronto.edu/~bonner>.
- [5] Qian Mo. Research and Implement of Cooperative Transaction Agent Ph.D Dissertation [M]. National University of Defense Technology, 1999. 5.
- [6] Peter J Kammer, et al. Techniques for supporting dynamic and adaptive workflow to be appeared in Journal of CSCW [R].
- [7] G Alonso, et al. Functionalities and limitations of current workflow management systems [R]. Technical report, IBM Almaden Research Center, 1997.
- [8] Sarit Kraus. Negotiation and cooperation in multi agent environments [A]. a Lecture presented in 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence [C], Montreal, Canada, August, 1995.
- [9] M Tambe. Implementing agent teams in dynamic multi agent environments [A]. in Proc. of the International Conference on Multi agent Systems (ICMAS) [C], Dec. 1996.
- [10] J Bardram. Designing for the dynamics of cooperative work activities [A]. in Proc. of ACM CSCW'98 [C], Washington, USA, 1998: 89-98.
- [11] R B Smith, et al. Supporting flexible roles in a shared space [A]. in Proc. of ACM CSCW'98 [C], Washington, USA, 1998: 197-206.
- [12] W J Tolone, et al. Specifying dynamic support for collaborative work within WORLDS [A]. in Proc. of 1995 ACM Conf. on Organizational Computing Systems (COOCS'95) [C], Milpitas, CA, Aug. 1995.

作者简介:

王晓东 男. 1973 年生于山东省巨野县。博士, 主要研究领域包括计算机支持协同工作、移动计算环境等。

周兴铭 男. 1938 年出生于上海市。中科院院士, 教授, 博士生导师, 主要研究领域包括超高性能计算机体系结构、微处理器、分布移动数据库技术、计算机支持协同工作等;

徐 明 男. 1964 年生于湖南长沙市。博士, 副教授, 主要研究领域包括移动计算环境、移动数据库技术、计算机支持协同工作等。