维普资讯 http://www.cqvip.com

“软件人”社会的递阶协调模型研究*)

马忠贵[1,2] 周贤伟[1] 曾广平[1] 涂序彦[1]

(北京科技大学信息工程学院 北京 100083)[1] (中国科学院复杂系统与智能科学重点实验室 北京 100080)[2]

摘 要 在借鉴多智体系统协调模型的基础上,提出了软件人社会的递阶协调模型,即基于合同网模型的软件人群体之间的协调机制和基于公共知识库的软件人群体内部的协调机制。使用公共知识库,单个软件人可以用最少的通信与其他软件人一起完成一项复杂的任务。将复杂问题进行有效分解,采用集中与分散相结合的协调原则,共同完成任务,降低了系统的维护难度和耦合度,使系统具有柔性,并易于实现。

关键词 软件人社会,多智体系统,协调,公共知识库

Research on Hierarchical Coordination Model for SoftMan Society

MA Zhong-Gui[1,2] ZHOU Xian-Wei[1] ZENG Guang-Ping[1] TU Xu-Yan[1]

(School of Information Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083)[1]

(The Key Laboratory of Complex Systems and Intelligence Science, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)[2]

Abstract Making reference to coordination models of MAS, hierarchical coordination model of SoftMan society which uses coordination mechanism based on contract net among the groups and coordination mechanism based on common knowledge base in one group has been proposed, and corresponding coordination algorithms and implementation approaches are given. Using common knowledge base, one SoftMan can achieve complex task by least communication with other SoftMans in same group. By effectually decomposing complex problems, combining centralized and decentralized coordination strategy, task can be achieved together. So it can reduce maintenance difficulty and coupling degree, make system be of flexibility, and be easy to develop.

Keywords SoftMan society, Multi-agent systems, Coordination, Common knowledge base

利用已有的多智体技术,涂序彦教授等开展了“软件人”的概念[1,2]、个体模型[3]、迁移机制[4]等的研究,在这些工作的基础上,研究了“软件人”群体的概念、体系结构[5,6]、通信[7]和协调[8,9]等。在研究的过程中发现,“软件人”之间的协调是“软件人”研究的核心问题。

由多个“软件人”个体相互联系、相互通信,可以组成各种类似于自然人群组织的“软件人群体”,进而由多个“软件人群体”可组成“软件人社会”。“软件人社会”是模拟“人类社会”的“人工社会”的软件模型。因此,对于“软件人社会”的研究,可以参照“人类社会”的模型和方法。人类社会的结构特征,可以归纳为三种基本的控制结构方案,即“集中控制”结构方案、“分散控制”结构方案和“递阶控制”结构方案。所以,针对每种控制方案,分别采用相应的协调模型,即“集中协调”、“分散协调”模型和“递阶协调”模型。本文主要研究“软件人社会”的递阶协调模型。

“软件人”社会的协调是指具有不同目标的多个“软件人”对其目标、资源等进行合理安排,以调整各自的行为,在最大程度地实现各自目标的同时,能够实现整个系统的全局目标;或者在最大程度地实现系统全局目标的同时,尽量减少“软件人”个体的资源消耗。在“软件人社会”的协调工作过程中,系统的通信开销和资源限制直接制约着“软件人社会”规模的构造。因此,通过研究“软件人社会”的协调模型和算法,旨在尽量降低协调过程的系统资源占用率,提高协调效率。

1 协调的含义

协调是广泛应用于社会、经济、生物、计算机等学科中的一个普遍概念,不同的学科从各自的领域出发赋予了它特定的内涵,从而得到了与领域相关的各种各样的协调定义。

从小组工作方式角度看,协调是一种分布计算方式。在此方式下,自治的、分布的实体或计算模块间通过交换信息和交互工作来管理由于资源限制而引起的执行者间或活动间的冲突[10]。

Malone 指出:协调理论被认为是一个正在发展的研究课题,并且横跨经济学、组织学和生物学等多个学科。协调是当多个交互的执行者追求共同目标时引起的附加信息处理,而这个目标是单个执行者所无法实现的,是管理活动间的依赖[11,12]。

Jennings 认为:协调是智体对本地活动和其他智体的行动进行推理以保证整体行动连贯执行的过程[13]。Busi 和 Ciancarini、Omicini 和 Ossowski 综合计算机领域关于协调的研究成果,将协调定义为对交互的管理[14,15]。

基于依赖和基于交互的两种关于协调的定义分别从协调问题的描述层和求解层上反映了协调问题的本质,得到了很多领域研究者的认同。

2 软件人社会的协调模型

“软件人”是“智体(Agent)”的发展,是网络环境下物理机器人的“虚拟化”。“软件人”可以看作是具有生命特征的智体,因此它要继承机器人和智体的多方面技术成果。目前多智体的协调模型有:合同网模型[16]、黑板模型[16]、结果共享模型[16]、市场机制[16]、功能精确的协调方法[16,17]、联盟形成

*)国家自然科学基金(60375038)、国家自然科学基金(60573050);中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学重点实验室开放课题(20060105)。**马忠贵** 讲师,主要研究方向:人工智能及应用、智能信息处理;**周贤伟** 教授,主要研究方向:移动通信;**曾广平** 教授,主要研究方向:智能网络与智能通信;**涂序彦** 教授,博士生导师,主要研究方向:人工智能及其应用。

维普资讯 http://www.cqvip.com

的协调方法[18]、联合责任法[19]、熟人模型[20]等。这些协调模型针对某种具体的多智体结构提出，不具有通用性；同时，随着多智体系统中智体数目的增加，协调效率显著下降。为此，本文在借鉴这些协调模型的基础上，提出了软件人社会的协调模型。

通常情况下，软件人社会是一种递阶结构，文[5,6]中详细描述了这种体系结构。在该递阶体系结构中，系统根据各软件人之间所处的位置、耦合的强弱、相互通信的难易和功能特性等具体情况，进行了分组，从而形成软件人群体，每个软件人群体设置一个组长，负责管理该群体的其他软件人，并通过中心服务器与其它软件人群体进行通信与协调。为了有效降低设计和实现的难度，当进行具体的协调时，不同的软件人群体之间采用成熟的合同网模型，同一软件人群体内部采用基于公共知识库的协调。

2.1 多级递阶协调结构的确定

多级递阶协调结构其实构成一颗树，如图 1 所示。设该树的度为 k、深度为 h，软件人社会的规模为 n[21]。

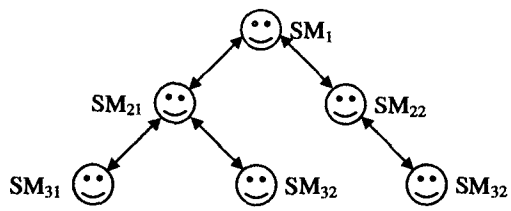

图 1 多级递阶协调树

则由树的两条性质：

性质 1 度为 k 的树的第 i 层最多有 k^{i-1} 个节点($i\geqslant 1$)；

性质 2 深度为 h 的 k 叉树最多有 $\frac{k^h-1}{k-1}$ 个节点。

可知

$$n\leqslant\sum_{i=1}^{h}k^{i-1}=\frac{k^h-1}{k-1} \tag{1}$$

软件人社会的协调代价为

$$\mathrm{Cost}(SM_1)=\mathrm{Cost}_1+\mathrm{Cost}_2 \tag{2}$$

其中：

Cost_1——SM_1 向其他软件人广播导引协调信号的代价；

Cost_2——其他软件人响应 SM_1 的协调结果的代价之和。

若以树的每个分支表示一个单位的代价，则

$$\mathrm{Cost}_1=\sum_{i=2}^{h}(i-1)k^{i-1}=(k\frac{k^{h-1}}{k-1}-h+1)$$

$$=\frac{k}{k-1}(\frac{k^h-1}{k-1}-h) \tag{3}$$

为计算 Cost_2，给每组软件人 $SM_i(i=2,3,\cdots,n)$ 赋予权值 ω_{ij}，权值越大表示协调难度越大。由此，计算每个叶节点至根节点的带权路径长度，然后取其中最大值，即为 Cost_2。由于 Cost_2 主要受权值 ω_{ij} 的影响，而权值主要受问题本身的影响，因此，当问题确定后，权值基本可以确定，故 Cost_2 在这里可以近似看作常量 C。因此

$$\mathrm{Cost}(SM_1)=\mathrm{Cost}_1+\mathrm{Cost}_2=\frac{k}{k-1}(k\frac{k^{h-1}-1}{k-1}-h+1)$$

$$+C \tag{4}$$

将式(3)代入式(1)，得

$$\mathrm{Cost}_1\geqslant\frac{k}{k-1}(n-h) \tag{5}$$

由式(4)、(5)可得

$$\mathrm{Cost}(SM_1)\geqslant\frac{k}{k-1}(n-h)+C \tag{6}$$

由 k 叉树的性质知，具有 n 个节点的 k 叉树的最小深度为

$$h=\log_k[n(k-1)+1] \tag{7}$$

由式(6)、(7)即可分析各参数之间的关系，从而确定合理的“多级递阶协调树”的结构。

2.2 基于合同网模型的软件人群体之间的协调

合同网中任务的产生、任务的分配、管理者、合同者的产生均是动态的，灵活性好。然而，在协调过程中节点间以广播的方式互相通信，若节点数多，则效率较低，所以有必要进行分组，只在软件人群体之间进行基于合同网的协调模型。FIPA 的合同网模型对原来的合同网进行了改进，增加了拒绝(rejection)与确认(confirmation)通信行为，使用 AUML 表示的合同网交互协议(fipa-contract-net)如图 2 所示[22]。

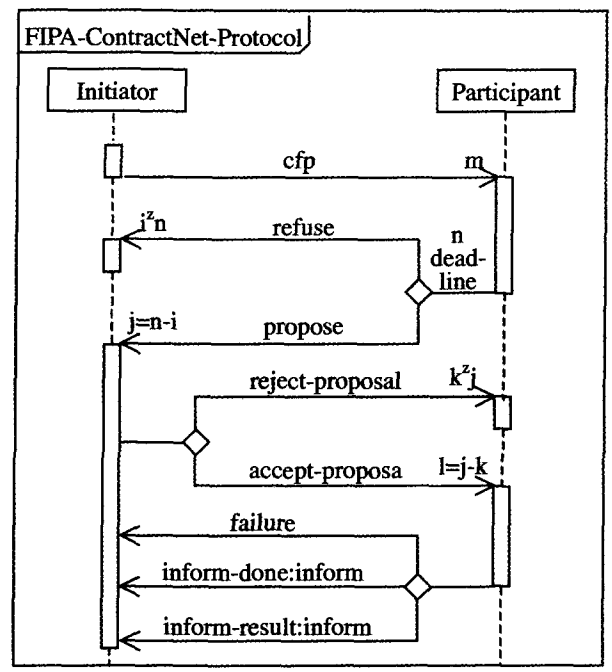

图 2 FIPA 合同网交互协议

2.3 基于公共知识库的软件人群体内部协调

在目前对多智体系统的大量研究中，系统的通信开销和资源限制一直是组织和构造大规模多智体系统的重要瓶颈。合同网模型需要向所有其他智体广播标书，对系统的通信和资源提出了很高的要求。采用集中协调支持方式是一种常见的降低系统通信开销的方法，这种方法通过设立专门的中心协调管理智体，负责保存和协调处理所有其他智体的信息。中心协调方法虽然降低了广播通信的代价，但仍然需要大量向中心协调管理智体请求查找协作智体的通信开销。在大规模的多智体系统中，通信开销的代价远远高于计算处理所付出的代价。

为此，我们提出了基于公共知识库的软件人群体内部协调模型。其主要思想是为每个软件人群体创建一个公共知识库，该群体内部的所有软件人都通过该公共知识库进行间接通信，且软件人之间交换的都是知识，不传递无用信息，彼此之间不直接通信。

这个思想来源于对人与人之间交流的一种模拟。我们知道，人与人之间的交流不一定每句话都遵循标准的对话协议。例如，男生甲与女生乙正在谈恋爱，第一次约会时，男生甲对女生乙说：“我们下周三晚 7：00 在星巴克咖啡厅见，星巴克咖啡厅在什么位置，如何去等”。当他们第二次或以后再在同一地方进行约会时男生甲就会对女友说：“老地方见”。其实

维普资讯 http://www.cqvip.com

“老地方”就是利用了公共知识库的原理，而不用再重复说一遍，从而降低了通信载荷。

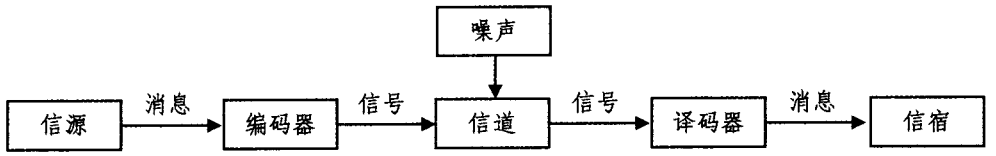

图 3　经典信息论模型

其实，在如图 3 所示的通信系统的一般模型中，信息从信源到信宿之间的传递，是通过一定的编码和译码实现的。因此，经典信息论的主要研究对象就是信源、信道和编码。特别是编码，许多国内外通信专家提出了许多卓有成效的编码方法，但信道容量的有限性，仍然阻碍了通信的有效性。

我们试图通过基于公共知识库的协调模型解决上述通信问题，从而降低系统的通信开销。基于公共知识库的协调模型如图 4 所示。

在图 4 所示的协调模型中，公共知识库作为一个公共工作区，以小组为单位，为每个软件人群体提供一个私有的公共知识库。我们把公共知识库分为三个区：环境区、任务区和共享区。环境区中存放本软件人群体内部所有软件人的个体信息以及资源的使用情况等知识，每个软件人群体内部的所有成员都可以读写。任务区中存放任务列表，用来对任务的执行情况进行记录并提供实时查询和报告，每组软件人群体内部的所有成员都可以读写。共享区存放公共知识，对于在协调过程中经常用到的公共知识均存储在共享区，为该软件人群体内部的所有软件人所共享。在每个软件人群体内部的共享区中，该软件人群体内部的所有成员都可以读，但只有每个软件人群体的组长可以写入和修改。对于每个软件人群体而言，均由该软件人群体的组长作为该软件人群体的管理者，负责该软件人群体与对应层中心服务器之间的协调处理、资源管理和任务的提交。每个软件人群体内部的成员只负责完成本软件人群体内部的工作，不与其它软件人群体进行通信与交互。例如，对于第 m 层的软件人群体 n，组长 GL_n 负责与其他软件人群体通信与协调，并负责更新共享区，而其成员 SM_{n1}、SM_{n2}、…、SM_{nt} 在组长 GL_n 的管理下完成自己的本职工作。

由于软件人需要通过通信语言进行通信，软件人群体之间采用 FIPA 交互协议，以 XML 的方式进行交互，而在群体内则以 RDF 三元组表示的知识进行交互，知识的基本格式为 {performative，sender，receiver＋content}。其中，performative 为通信原语，即消息类型；sender 为消息的发送者；receiver 为消息的接收者；content 为传递的消息内容。这几项分别与 FIPA-ACL 语法结构中的各项相对应。而我们可以省略其它信息，如使用的语言和协议等。用 RDF/XML 形式表示的知识格式为：

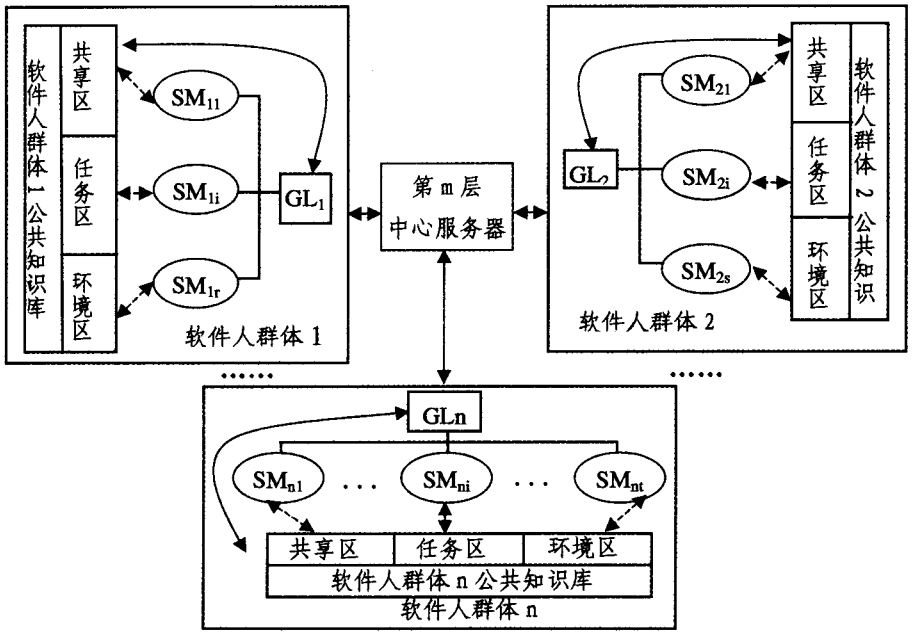

图 4　基于公共知识库的软件人群体内部协调模型

```
〈rdf:RDF〉
    〈rdf:Description about="sender"〉
        〈s:performative〉 receiver ＋ content 〈/s:performative〉
    〈/rdf:Description〉
    〈/rdf:RDF〉
```

基于公共知识库的软件人群体内部协调的交互图如图 5 所示。

基于公共知识库的软件人群体内部协调模型具有以下特点：

(1)可以减少系统之间的耦合度，有效降低设计和实现的难度，便于管理。

(2)简化了系统的通信结构，减少了处理过程中的信息交互量以及通信延迟，降低了系统的通信开销，分散了信息流，提高了通信效率。

3　软件人社会协调模型的实现

由前面的介绍可知，多级递阶协调模型其实是一颗任务树。在具体实现时，我们可以将该任务树转换成一个有向图，

维普资讯 http://www.cqvip.com

以树的根节点作为有向图的起始节点，增加一个功能节点代表任务结束，即以任务的结束作为有向图的终止节点。这样就将任务树转换成一个有向图，接下来就可以按照有向图来进行处理了。例如，可以将图1转换成如图6所示的有向图。图6中，SM_1 是起始节点，SM_4 是终止节点。

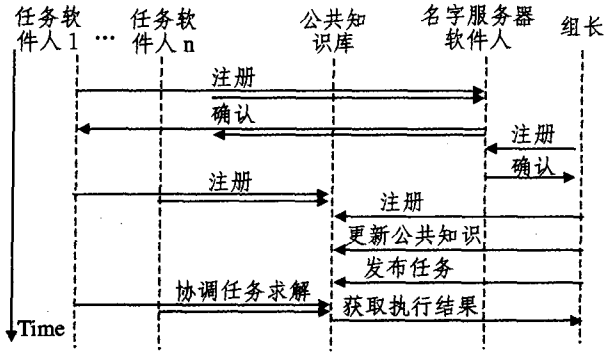

图5　基于公共知识库的软件人群体内部协调的交互图

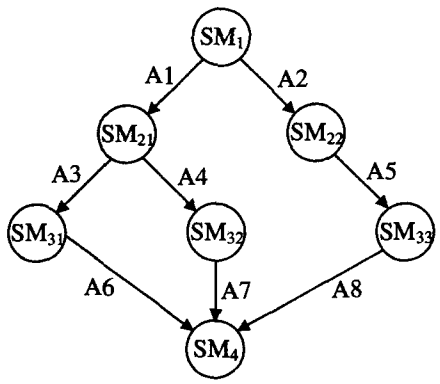

图6　任务实现的有向图

图6所示的有向图可以使用Java语言中的一个二维的字符串数组表示，每一个字符串表示相关节点或弧的合法的类名，每一维表示从某一节点开始所有可行的通路，使用Java语言表示如下：

```
public class simple_graph extends Graph {
    static String [ ][ ] entry = {
            {"SM1", "A1", "SM21", "A2", "SM22"},
            {"SM21", "A3", "SM31", "A4", "SM32"},
            {"SM22", "A5", "SM33"},
            {"SM31", "A6", "SM4"},
            {"SM32", "A7", "SM4"},
            {"SM33", "A8", "SM4"},
            {"S4"}
    }
}
```

图的处理包括从指定的起始节点开始，使用深度优先或广度优先的算法遍历整个图，直到到达终止节点。处理过程通过Graph类控制，Graph类是所有行为图的超类。其实，图中某一弧也可以是一个有向图，从而实现递归调用。

结束语　根据大系统控制论的“分解-协调”思想，软件人社会的结构大体可以归纳为三种基本的控制结构，即“集中控制”、“分散控制”和“递阶控制”结构，而“递阶控制”结构可以看作是“集中控制”结构与“分散控制”结构的综合。本文主要针对“递阶控制”结构进行了研究，提出了“软件人社会”的递阶协调模型，即基于合同网模型的软件人群体之间的协调机制和基于公共知识库的软件人群体内部的协调机制。使用公共知识库，单个软件人可以用最少的通信与其他软件人一起将复杂问题进行有效分解，采用集中与分散相结合的协调原则，共同完成一项任务，这样，降低了系统的维护难度和耦合度，使系统具有柔性并易于实现。

参 考 文 献

1　曾广平，涂序彦. “软件人”. 中国人工智能进展. 北京：北京邮电大学出版社，2003. 677～682

2　曾广平，涂序彦. “软件人”的概念模型与构造特征. 计算机科学，2005，32(5)：135～136

3　卢庆龄，曾广平，张威，等. 软件人个体模型研究. 计算机工程与应用，2005，(30)：49～51

4　曾广平. “软件人”系统模型构造与关键技术研究——基于Linux内核的“软件人”系统构造技术：[博士学位论文]. 北京：北京科技大学，2005-5

5　Ma Zhonggui，Ban Xiaojuan，Ye Bin，et al. The Study on Model and Architecture of SoftMan Group Based on Intelligent Autonomous Decentralized Systems. In：Proceedings of 2005 IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized Systems. Chengdu，China，April 2005. 641～646

6　马忠贵，叶斌，曾广平，等. 基于π演算的软件人群体形式化建模. 北京理工大学学报，2006，26(2)：130～134

7　马忠贵，叶斌，曾广平，等. 基于SOAP的软件人通信模型研究. 计算机科学，2006，33(6)：188～191

8　叶斌，马忠贵，曾广平，等. 软件人群协调模式的研究. 计算机工程与设计，2005，26(8)：1973～1974

9　卢庆龄，曾广平，张威，等. 软件人群的自律分散组织模型与协调控制. 控制与决策，2006，21(1)：56～60

10　Billard E A，Pasquale J C. Adaptive coordination in distributed system with delayed communication. IEEE Transactions on S M C，1995，25(4)：546～554

11　Malone T W，Crowston K. The interdisciplinary study of coordination. ACM Computing Surveys，1994，26(1)：87～119

12　Malone T W. What is coordination theory and how can it design cooperative work system? In：Proceeding of the Third Conference on CSCW. New York：ACM Press，1990. 357～370

13　Jennings N R. Coordination Techniques for Distributed Artificial Intelligence. In：GMPO Hare. Foundations of Distributed Artificial，John Wiley and Sons，1996

14　Busi N，Ciancarini，GorrieriR et al. Coordination models：A guided tour. In：Coordination of Internet Agents：Models，Technologies，and Applications，Springer-Verlag，2001

15　Omicini A，Ossowski S. Objective versus subjective coordination in the engineering of agent systems. In：Intelligent Information Agents：An AgentLink Perspective，LNAI：State-of-the-Art Survey，Springer-Verlag，2003. 179～202

16　张维明，姚莉. 智能协作信息技术. 北京：电子工业出版社，2002

17　Lesser V R. Arestrospective of FA/C problem aolving. IEEE Trans on SMC，1991，21(6)：81～96

18　Pang Jie，Zeng Guangping，Tu Xuyan. Study on virtual robot in network environment-SoftMan. In：Proceedings of 2004 IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics，Automation and Mechatronics (RAM)

19　Jenning N R. Controlling cooperative problem solving in industrial multi-agent systems using joint intention. Artifical Intelligence，1995，75：195～240

20　Lashkari Y，Metral M，Maes P. Collaborative interface agents. In：Proc. of the 12th National Conf on Artificial Intelligence. Seattle：AAAI Press，1994. 444～449

21　叶斌，马忠贵，曾广平，等. 软件人群协调模式的研究. 计算机工程与设计，2005，26(8)：1973～1974

22　Foundation for Intelligent Physical Agents. FIPA Contract Net Interaction Protocol Specification. 2002. http://www.fipa.org/specs/fipa00029