

# 基于多 Agent 的动态数据并行计算方法研究

刘 颖, 马 斌, 王长涛, 黄 宽, 李海峰

(沈阳建筑大学 信息与控制工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

**摘要:**为实现动态数据的快速处理和计算,提出一种基于多 Agent 和分布式并行计算的动态数据处理方法。该方法以智能 Agent 作为计算和控制的最小单元,构建有向无环的动态网络拓扑结构,采用基于信任度的合同网模型,并与阈值相结合,实现动态数据处理和快速求解,体现系统的智能性和实时性。实验结果表明,该计算方式与传统计算方式相比,系统的计算速率显著提高,实现了动态数据的实时性处理。

**关键词:**多 Agent; 并行计算; 动态数据; 信息物理融合系统

中图分类号: TP274 文献标识码:A 文章编号:1000-8829(2014)07-0046-04

## Study on Parallel Computing Method of Dynamic Data Based on Multi-Agent

LIU Ying, MA Bin, WANG Chang-tao, HUANG Kuan, LI Hai-feng

(Information and Control Engineering Faculty, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** A method of dynamic data processing based on multi-Agent and distributed parallel computing is proposed to achieve rapid processing and calculation of the dynamic data. According to this method, the intelligent Agent is regarded as the minimum unit of calculation and control, and a dynamic network topology with directed acyclic structure is constructed. The contract net model based on trust is adopted and combined with the threshold. Thus, the dynamic data processing and fast solution can be achieved. Meanwhile, the intelligence and real-time performance of the system is embodied. The experimental results show that, compared with the traditional calculation, the calculation rate of the system is increased significantly and real time processing of dynamic data is implemented.

**Key words:** multi-Agent; parallel computing; dynamic data; cyber-physical system

信息物理融合系统(CPS,cyber-physical system)是在环境感知的基础上,深度融合计算、通信和控制能力的可控可信可扩展的网络化物理设备系统,它通过计算进程和物理进程相互影响的反馈循环,实现深度融合和实施交互,来增加或扩展新的功能,以相对安全、可靠且高效率的方式来检测并控制一个物理实体<sup>[1-6]</sup>。其作为计算进程和物理进程的统一体,计算对整个系统的重要程度是显而易见的,数据处理的快慢程度以及处理结果的准确性直接影响到整个 CPS 功能的实现。

CPS 在智能建筑环境中的应用仍然处于起步阶

段,建筑环境中的信息是动态的,系统所采集到的数据,如温度、湿度、定位信息等都因采集时间的不同而不同。在智能建筑环境中,温度、湿度等信息是衡量建筑环境是否舒适的重要标准,而传统的建筑环境检控系统对于环境动态数据的处理存在不及时、实时性差的问题,这就对应用于建筑环境内的 CPS 的计算速度及结果的准确性有了更高标准的要求,这也对 CPS 在建筑领域的广泛应用有很大的促进作用。

关于动态数据的研究,已有很多学者在其处理、分析、预测等多方面取得一定的研究成果。文献[7]在动态数据流的处理中结合了分布式系统结构,重点解决了在计算过程中的负载平衡问题。文献[8]提出了一种具有开放式体系结构的数据挖掘工具,支持多种数据挖掘策略,并与网络基础结构兼容。本文在前人研究的基础之上,使用 Agent 作为计算单元,提出一种以多 Agent 系统为基础,采用并行计算方式的动态数据处理方法。并行计算结构是一种有效解决数据处理速度瓶颈的方法,该结构使大量计算任务分散开并且

---

收稿日期:2013-05-16

基金项目:住房和城乡建设部科学计划项目(2012-K8-33)

作者简介:刘颖(1988—),女,山西大同人,硕士研究生,主要研究方向为建筑智能化;马斌(1955—),男,辽宁沈阳人,教授,硕士生导师,主要研究方向为信息物理融合系统(CPS)技术、建筑智能化技术。

同时进行相关的处理计算,将系统的计算负载有效地分散开,从而达到提高计算速率的目的<sup>[9]</sup>。合同网模型在 CPS 中的应用,有效地解决了计算任务的分配与动态地构建计算网络的问题<sup>[2]</sup>。在本文提出的动态数据处理优化方案中,用智能 Agent 代替计算机、PC 机作为数据处理中的节点,进行动态的构建组网,使计算任务可以最优化分配,动态数据流可以进行实时计算,提高计算速率,实现计算形式及方法的优化,提高 CPS 的整体性能。

## 1 多 Agent 技术

Agent 概念最早提出可以追溯到 1977 年,Carl Hewitt 的《Viewing Control Structures as Patterns of Passing Message》一文中,作者定义了具有自兼容性、交互性和并发处理机制的对象,它具有封闭的内存状态,并且可以和其他同类的对象进行消息的发送和反馈<sup>[10]</sup>。这项定义已经体现出智能 Agent 的特点,经过学者们的不断研究,Agent 的定义也不断被完善,直到现在学术界对于 Agent 的定义仍然没有统一,但是一般都认为:智能 Agent 作为一类新型计算模型,具有不断感知外部世界和自身状态变化的能力,并根据感知结果对自身的状态和行为进行适时合理的调整。图 1 为 Agent 内部结构示意图。

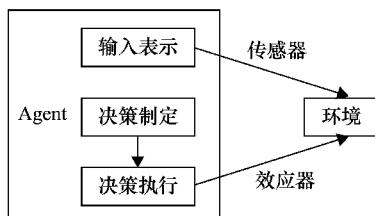


图 1 Agent 结构示意图

而在实际控制过程中,复杂计算任务已经远远超出了单个 Agent 的求解能力范围。一个智能 Agent 的能力受自身的能力和周边可用资源的约束,解决复杂计算任务的能力受到影响和制约,而研究者对复杂计算任务的求解需求又非常急迫,在这种条件的催生下,智能多 Agent 的技术引起了很多学者的注意并且得到了快速发展。

如果说 Agent 如同一个人,那么多 Agent 系统就是个人所处的社会环境,Agent 与 Agent 之间建立通信联系、协作,发生交互,形成一个 Agent 的社会,它们之间既互相联系,又互相独立,协同合作,最终实现复杂计算任务的求解。

多 Agent 系统(MAS, multi-Agent system)由多个 Agent 组成,每个 Agent 都代表一个物理的或是抽象的实体,彼此之间相互自主,根据外部世界的变化来进行自身和可控部分的相应反应。

多 Agent 系统是 Agent 技术一次质的飞跃,其系统优势概括地来说,主要有<sup>[11]</sup>:在多 Agent 系统中,每个 Agent 都可以独立自主地推理并解决给定的问题;支持分布式应用,易于扩展;是一个智能的协调式系统,各 Agent 之间彼此协调求解问题,降低了系统的复杂程度。

## 2 动态数据处理

### 2.1 动态数据处理平台

在本文中,动态数据的处理平台是由多 Agent 构成,每个 Agent 作为计算网络中的一个结点,Agent 之间互相独立又彼此相关,构成拓扑网络结构,采用并行计算的方式对动态计算任务进行相关的分解计算。

并行计算(parallel computing)是指在并行机上,将一个应用分解成多个子任务,分配给不同的处理器,各个处理器之间相互协调合作,并行地执行子任务,从而达到加速求解速度,或者求解应用问题规模的目的<sup>[9]</sup>。并行计算之所以会被广泛应用,主要原因在于它可以满足大规模计算所需要的技术支持,并且可以有效地提高计算速率。并行计算近几年也得到了飞速的发展,它作为一种对计算资源进行聚合的技术,是解决单处理器速度瓶颈的最好方法<sup>[12]</sup>。

结点、互联网络和内存是并行体系的三大要素,其中,结点是构成并行体系结构的基本单位<sup>[12]</sup>。并行程序执行的过程中,程序分派的各个进程并行地运行在结点的各个微处理器上;结点间的连接构成网络拓扑结构,而由于结点之间连接性质的多样性,拓扑结构有静态拓扑网络、动态拓扑网络和宽带互联网 3 种。在本文中,针对动态数据的特殊性质,动态拓扑结构更适合用于并行体系的构建。动态拓扑结构,指的是结点之间没有固定的物理连接,而是在连接路径的交叉点处用电子开关、路由器或仲裁器等提供动态链接,主要包括单一总线、多层次总线、交叉开关、多级互联网络等类型<sup>[9]</sup>。在本文中,采用并行计算的概念,将 Agent 看作并行结构中的结点,搭建多 Agent 并行计算框架,实现并行同步的处理动态数据。

### 2.2 动态拓扑网络的计算机制

一个开放系统的结构会动态地变化,那么其组成部分随时间的不同而改变是不可预测的、未知的,这就对系统的组成单元的智能性提出更高的要求。在多 Agent 系统下构建的分布式并行计算平台以智能 Agent 作为计算和控制的最小单元,将复杂量大的计算任务按规则分解成便于计算的子任务。

任务的分解方式有集中式和分布式,在本文中,任务分解使用分布式任务分解中的合同网协议,并对其进行改进,完善系统的计算能力。

合同网协议(CNP, contract net protocol)是由 Ran-

dall Davis 和 Reid G. Smith 提出的经典协调理论,主要针对任务和资源分配提出一种解决方法,是一种近似全局最优分配方法<sup>[13]</sup>。其主要原理是模拟市场机制中的招标、投标、发标和完成任务的整套过程,在多 Agent 系统中使产生任务的 Agent 和愿意执行该项任务的 Agent 之间达成协议,签订合同来实现任务分配的一种算法。关于合同网的研究,Conry 提出的多阶段协商的合同网模型,该模型的优点是允许签约的中标 Agent 将其接受的任务继续划分,形成网状的层次结构,有效地分散了系统的通信负载,降低了 Agent 的决策难度。万武南等提出基于熟人集的合同网模型<sup>[14]</sup>,该模型可以在动态环境中使用,任务熟人集记录了各类型任务的潜在合同者及这些合同者对任务的熟悉程度,较依赖过去同类型任务分解的过程。

本文采用文献[14]提出的基于任务熟人信任度的合同网招标策略,采用多阶段协商的合同网模型,根据系统中对执行节点完成任务的信任度将计算任务分配给不同的 Agent 执行。在合同网模型中,信任度表示管理者对任务熟人集完成任务的信任程度,个体 Agent 完成的任务质量越高且数量越多,管理者对它的信任度就越高。设某 Agent 在以往的某类型任务中完成总数为  $x_{total}$ ,其中,成功完成的任务数为  $x_{suc}$ ,管理者评价 Agent 完成该类型任务的质量值为  $\varepsilon_{qua}$ ,则管理者对该 Agent 的信任度为

$$c_{ij} = \lambda \times \varepsilon_{qua} + (1 - \lambda) \frac{x_{suc}}{x_{total}} \quad (1)$$

式中,  $\lambda$  为影响因数,且  $0 < \lambda < 1$ 。

将发布任务的 Agent 抽象为合同网中的管理者,称之为管理 Agent,其余节点 Agent 看作是合同网中的承包商,管理 Agent 中包含各承包商要完成的任务相对应的信任度列表

$$C = \{c_{ij} = 0 | i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m\} \quad (2)$$

其初始状态为

$$\sum_{j=1}^m c_{ij} = 0 \quad (3)$$

在计算任务初始化后,管理 Agent 面向全部承包商招标,各承包商先进行相关的自我评价后根据评价结果向管理 Agent 提出投标请求,管理 Agent 根据承包商的标书将任务分解并分配给不同的承包商,发布合同,得到任务的承包商可作为下一级的管理 Agent,将其任务继续分解分配,直至最后得出计算结果,并对参与任务分配的各 Agent 的信任度  $c_{ij}$  进行更新。

进行下一次同类型任务时,管理 Agent 首先设定信任度的最大阈值  $Q_{max}$  和最小阈值  $Q_{min}$ ,然后根据对各个 Agent 的信任度  $c_{ij}$  选择信任度在  $Q_{min} < c_{ij} < Q_{max}$  的承包商直接招标,综合考虑 Agent 的自身能力值  $b_{ij}$ ,

进行承包商的选择,规则为

$$P_{ij} = \alpha \times c_{ij} + \beta \times b_{ij} \quad (4)$$

式中,  $P_{ij}$  为被选择的概率,  $P_{ij}$  的值越大,任务的完成质量越好,选出  $P_{ij}$  值大的承包商进行招标投标,最终发布合同,减少各个 Agent 通信负载。

由于计算任务的动态不确定性,分解依据也随着计算任务的变化而变化,整个计算平台处于动态的变化过程中,计算过程从计算任务的提取到计算结果的输出有向进行,但并不呈环状,形成有向无环的动态拓扑网络结构,如图 2 所示。

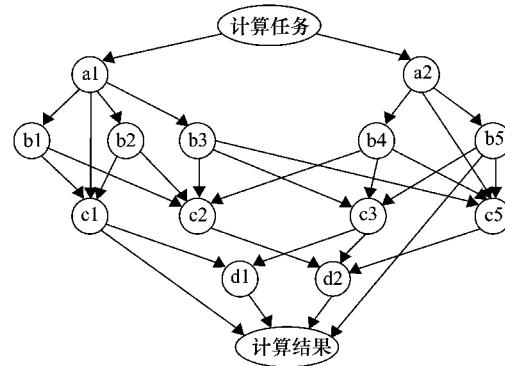


图 2 任务分解分布计算有向无环示意图

在本系统中,整合后的计算任务  $M$  即为管理 Agent,各级 Agent 作为结点相互连接构成有向无环的网络拓扑结构。任务的分配计算实现过程如下:

① 任务初始化。管理 Agent 对全部 Agent 完成任务  $j$  的信任度为式(3)。管理 Agent 向各层的全部 Agent 招标,各 Agent 再衡量自身能力  $b_{ij}$ ,取

$$b_j = \{b_{ij} > b | 0 < i < n, 0 < j < m\} \quad (5)$$

式中,  $b$  为系统设定的衡量 Agent 自身能力的最小阈值,满足条件的 Agent 向管理 Agent 投标。

② 管理 Agent 根据选择规则(式(4)),选择要合作的 Agent,选择  $P_{ij}$  较大的 Agent 确定合作意向。

③ 中标 Agent 执行分得的计算任务,将计算任务按照上述步骤继续向下层 Agent 招标分解和处理任务,直到得出计算结果。

④ 更新执行任务  $j$  的各个 Agent 的信任度,更新规则为

$$\begin{cases} c_{ij} + \eta \rightarrow c_{ij}, & \text{任务完成} \\ c_{ij} - \eta \rightarrow c_{ij}, & \text{任务未完成} \end{cases}$$

式中,  $\eta$  为计算任务进行后信任度所发生的变化值。

⑤ 有计算任务  $j$  再次到来时,管理 Agent 首先设定信任度的最大阈值  $Q_{max}$  和最小阈值  $Q_{min}$ ,然后根据对各个 Agent 的信任度  $c_{ij}$  选择信任度在  $Q_{min} < c_{ij} < Q_{max}$  的承包商直接招标。

⑥ 返回步骤②。

在整个计算过程中,计算是按照逐层开始、有向进

行的,但是并不形成环状结构。用有向无环的任务分解模型进行任务的分解计算,不同计算层之间结果的互相调用也避免了重复多余的计算,优化了系统的计算性能。

### 3 实验仿真及结果

假设无线网络的通信状态良好,在网络环境良好的理想实验环境下设计实验,在 Matlab 环境下进行仿真。仿真实验场景为建筑面积为  $100 \text{ m}^2$  的环境内部所采集到的实时温湿度数据,并对这些数据进行相关处理。在同样的实验环境下使用非多 Agent 构建的并行结构的动态数据处理方式的建筑环境检测装置,并将其结果进行对比。实验结果如图 3 所示。

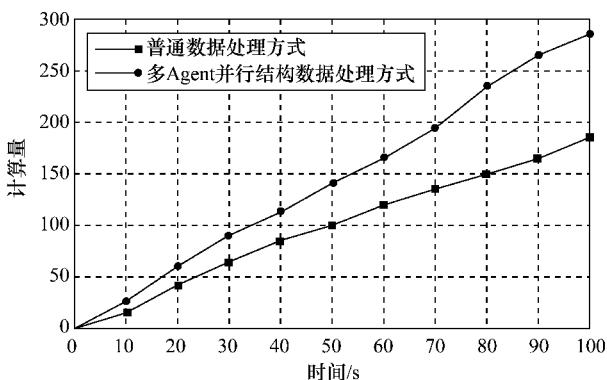


图 3 实验结果对比图

对实验结果的数据进行分析,结果如图 4 所示。采用基于多 Agent 的并行计算结构的动态数据处理方式的环境检测系统相较于普通的环境检测装置的数据处理系统,在所处理的计算信息量相同的情况下,多 Agent 系统的并行处理方式将计算分解,分配到适于处理该项计算任务的处理器中,并且由于每个 Agent 都可以看作是一个相对独立的处理器。该系统的处理器数目较多,所以每个处理器的平均负载比普通的环境监测系统的处理器负载量小得多,从而缩短数据处理所用的时间,实现数据处理速度的提高。

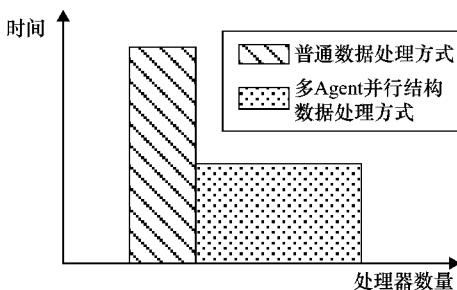


图 4 实验结果分析图

实验结果显示,本文提出的实验方法与传统方法相比,所需用的时间更少,计算效率显著提高,由此可得出仿真实验结果:采用基于多 Agent 的并行结构动

态数据处理机制的建筑环境 CPS 可有效提高建筑环境检测及计算的速率,与原系统相比,计算速率显著提高,有效地提高了系统的实时性。

### 4 结束语

本文以 Agent 作为计算和控制的最小单元,充分发挥其自主性、智能性,针对动态数据及计算任务分解问题的处理提出构建基于多 Agent 系统的并行计算平台,采用基于信任度的合同网模型,并与阈值相结合,搭建动态的有向无环拓扑网络,提高系统的计算速率,实现动态数据的实时性处理。该计算平台具有智能性高,计算速率快、可扩展性强的优点,有良好的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 陈丽娜,王小乐,邓苏. CPS 体系结构设计 [J]. 计算机科学,2011,38(5):295–300.
- [2] 伍京华,孙华梅. 带有熟人关系的 agent 劝说及其评价模型研究 [J]. 计算机应用研究,2013,30(2):386–388.
- [3] Lin J, Sedigh S, Miller A. A general framework for quantitative modeling of dependability in cyber-physical systems: a proposal for doctoral research [C]//33<sup>rd</sup> Annual IEEE International Computer Software and Applications Conference. 2009:668–671.
- [4] Chen X G, Song H G. Further extensions of FIPA Contract Net Protocol: threshold plus DoA [C]//2004 ACM Symposium on Applied Computing. 2004:45–51.
- [5] Luo H, Hu X J, Hu X X. Multi-agent negotiation model for distributed task allocation [C]//IEEE International Conference on Information Management and Engineering. 2010:54–57.
- [6] Liu N, Gao F Y. Research on the Negotiation strategy of multi-agent based on extended contract net [C]//International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications. 2009:105–108.
- [7] 黄长营. 分布式数据流处理系统的负载均衡技术研究与实现 [D]. 成都:电子科技大学,2012.
- [8] 刘君强,顾海全,李秀荣. 实现动态数据流分布式挖掘的网格平台模型 [J]. 计算机时代,2006(11):14–16.
- [9] 张林波,迟学斌,莫则尧,等. 并行计算导论 [M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [10] 贾利民,刘刚,秦勇. 基于智能 Agent 的动态协作任务求解 [M]. 北京:科学出版社,2007.
- [11] 迟铁. 基于 Agent 的无线网络在建筑环境中的应用研究 [D]. 沈阳:沈阳建筑大学,2011.
- [12] 方福贵. 并行计算的研究与探析 [J]. 科技创新导报,2011(27):56–58.
- [13] 高志军,颜国正,丁国清. 多 Agent 协作环境下的任务分配 [J]. 系统工程与电子技术,2005,27(1):134–136.
- [14] 万武南,张蕾. 基于任务熟人集的合同网模型的改进 [J]. 计算机应用,2003,23(3):3–5.

□