

文章编号:1001-9081(2006)02-0276-03

基于多代理系统方法的存贮路径问题研究

孙斌锋, 吕雄伟, 李 军

(西南交通大学 经济管理学院, 四川 成都 610031)

(luxwei@sina.com)

摘 要: 在分析现有研究成果的基础上, 运用智能化的多代理技术建模方法, 将问题抽象映射成为 4 类自治的 Agent, 构造存贮路径问题 (Inventory Routing Problem, IRP) 的多代理模型, 通过 Agent 间的通信与协作完成问题的求解, 为该问题的处理探索一条新的途径。

关键词: 存贮路径问题; 供应商管理库存; 多代理技术; 建模

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A

Research on inventory routing problem using multi-agent system approach

SUN Bin-feng, Lü Xiong-wei, LI Jun

(School of Economics and Management, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan 610031, China)

Abstract: An artificial intelligent approach to solve the complex logistics optimization problem called inventory routing problem was proposed, which was one of the core problems of vendor managed inventory, on the analysis of the papers available. IRP (Inventory Routing Problem) has been mapped into 4 Agents, each driven by its own local object, and with information sharing, they try to realizing the global optimization while cooperation and competition.

Key words: IRP (Inventory Routing Problem); VMI (Vendor Managed Inventory); MAS (Multi-Agent System); modeling

0 引言

在日趋激烈的市场竞争条件下, 强调协调、合作的供应链管理思想和理念早已被广大企业所接受。传统各自为政的库存管理方法难以适应快速响应客户需求的供应链管理环境, 导致供应链总成本的增加, 制约着整体运行的优化, 削弱了企业竞争优势。供应商管理库存 (Vendor Managed Inventory, VMI) 这一新兴的供应链管理库存思想改变了这一状况, 由数目有限的上游企业对众多下游企业的流通库存进行统一管理和控制, 主动安排合理的补货, 降低供应链上供需双方的运作成本。

VMI 是个复杂的大系统, 具体运作需要相当繁杂的作业来制定客户补货策略和车辆调度计划, 避免出现缺货的情况, 发生潜在销售损失的风险, 或是出现货物囤积过多, 造成多余的库存维持费用, 这类规划最优补货策略的问题——存贮路径问题 (IRP), 也是 VMI 管理模式下的核心问题之一。

1 IRP 问题及研究现状

IRP 问题实质上是库存控制与运输计划之间的协调, 它将隔断的信息孤岛集成起来, 在供应商与客户之间架起信息协调桥梁, 在单个供应商对多个分散客户库存进行统一管理的模式下, 制定使得供应商的运输成本与客户库存成本总和最低的最佳运输计划和最优库存策略^[7], 这里的成本包括订货成本、库存保管成本、缺货损失成本和固定及变动运输成本等。

从 IRP 定义中可以看出问题系统有如下特点:

1) 1-N 的拓扑结构。由单个配送中心来管理多个客户库存, 完成产品的分配与派送。

2) 时、空二维上表现出的组合特性。客户补货时间的确定制约着车辆路线的安排, 车辆的运输调度也影响着客户的库存控制。

3) 相互冲突的局部目标。IRP 问题中的库存控制与运输调度属于相互冲突的局部问题, 存在着此消彼长的二律背反 (Trade-off) 现象。

因此, 借助 IRP 问题的研究来设计或优化一个实际的物流系统时, 通常要对以下三个主要组合问题进行决策^[2]:

- 1) 客户补货时间: 选择配送时间点内需要进行补货的客户;
- 2) 客户补货数量: 根据客户库存控制策略安排补货数量;
- 3) 车辆配送路线: 为每一辆车在配送时间内构造有效的行车路线, 节省运输成本。

显然, IRP 问题是 NP-hard 难题, 因为当问题条件假设简化成单周期、车辆运载能力无限、客户不考虑订货成本时, IRP 问题演变成经典的组合优化难题——旅行商问题 (Travel Salesman Problem, TSP)。

最早将库存与运输问题集成考虑的是美国学者 Schwarz^[6], 并且很快吸引了不同领域的专家及运输行业管理者的关注。文献[4]分析了在客户需求固定的假设之下, 衡量运输成本与库存成本之间的冲突, 求得使总成本最小的装载量的 IRP 问题, 并比较了直接配送 (Direct Shipping) 与零担运输 (Peddling) 两种不同的策略。文献[5]的研究设计了一个关于单天 IRP 问题的启发式算法, 考虑当天决策对未来几天的 IRP 问题影响。文献[1]采用固定分区策略 (Fixed Partition Policy, FPP) 模型, 将客户的总需求量分解为几个需求点, 并将需求点根据某一分组原则划分到不同子区域, 形成相互独立的策略集 Φ 。任意策略集都是由单车完成产品配

收稿日期: 2005-08-04; 修订日期: 2005-10-31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (70271022); 高等学校博士学科专项科研基金资助项目 (20030613016)

作者简介: 孙斌锋 (1978-), 男, 湖南郴州人, 博士研究生, 主要研究方向: 物流工程; 吕雄伟 (1977-), 男, 湖南常德人, 博士研究生, 主要研究方向: 物流工程; 李军 (1967-), 女, 四川简阳人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 物流工程、决策分析与博弈理论应用。

送,且配送车辆对 Φ 中某客户配送,该集合中其余客户也都要接受该车辆的补货。考虑到 FPP 策略确定 Φ 是 NP 难题,有学者将对所有客户分组转换成另一类熟悉的问题进行处理。文献[3]应用一些技术将 IRP 问题转换成另一个较好求解的问题——约束集中器选址问题(Capacitated Concentrator Location Problem, CCLP),通过传统的 EOQ 式子求得客户的补货间隔期,从而得到原 IRP 的可行解。

当前处理 IRP 问题的方法,大多采用以集中式模型为主的优化技术,在配送任务执行之前,根据系统目标的要求,假定系统环境处于稳定状态,利用数学算法求解构建的模型,制定客户最优补货策略和运输计划。然而,随着信息技术的发展、进步,各种先进的生产理念与运作模式,如 JIT、ERP 和 AM 等的实施,IRP 问题研究的环境发生了变化,系统逐渐向分布式和动态式的方向发展。缺乏协调的供应链容易导致双重边际效应、牛鞭效应的低效率行为。因此,增加系统供应商与客户之间的联系与合作,提高信息共享程度,利用覆盖整个系统的分布决策体系替代缺乏柔性 and 集成度差的集中决策体系,已经成为实施 VMI 库存管理模式的关键。

2 基于 MAS 技术的建模方法

近年来,MAS 成为分布式人工智能(Distributed Artificial Intelligence, DAI)研究的一个重要分支,受到计算机、自动控制、管理科学等许多学科的日益重视。MAS 是一种自下而上设计的系统,由多个可能已有的、可协作求解、给定问题的(半)自主 Agent 构成。它是一个松散耦合的问题求解器网络,通过 Agent 通信和交互,达到高效率求解复杂问题的目的。这些 Agent 是自主的,并可能是异构的。

MAS 技术,相对于传统集中式、非自主模型处理的技术路线,不是利用方程,而是利用通过对功能实体行为准则的模拟、仿真进行建模,既强调系统内部中每个功能实体的特性,更强调功能实体间的相互交互作用。后者是传统集中式、非自主数学模型所缺乏研究的内容。

基于 MAS 的建模方法强调相互独立又有联系的 Agent 在分布式环境下的协调、合作,这些 Agent 在复杂、动态环境下的相互交互,与 IRP 问题涉及的对象和实体有许多相同之处,表现在:

1) IRP 系统中客户与配送中心的信息交互、货物流动以及库存与运输形成的竞争与合作的特性,都体现为 Agent 间的关系和相互依赖。

2) MAS 能为动态 IRP 问题库存与运输全方位的集成提供理论框架。库存与运输策略已有许多成熟的控制理论与技术,形成各自为政的“信息孤岛”。MAS 框架既保持了这些“孤岛”的相对独立,又可借助于 Agent 之间的合作、冲突消解等策略分析“孤岛”间的复杂交互关系,达到信息集成的目的。

3 基于 MAS 的 IRP 问题研究

3.1 IRP 问题的 MAS 模型

对系统进行 MAS 建模首先要完成系统中 Agent 的划分,这是建模的关键步骤。针对不同的问题,Agent 划分的粒度和内部结构各不相同。Agent 划分的粒度反映其功能实体的规模,规模越小,模型中的 Agent 数量就越多,系统的灵活性也随之增加、适应性增强,但系统的组织与控制的复杂度也逐渐增加,导致系统的运行效率减低;相反,功能实体的规模越大,系统中的 Agent 数目也越少,单个 Agent 承担的任务过重,无

法体现 Agent 在分布式环境中的优势^[8]。

对 IRP 问题的研究侧重于分析和研究供应商与客户之间的信息交换以及策略决策,本文参考三个组合子问题对 IRP 问题进行 Agent 划分。IRP 问题 MAS 模型体系中包括 4 类 Agent:配送中心 Agent 作为客户库存控制与车辆运输调度的决策者;客户 Agent 负责预测客户需求、监控客户库存水平以及提交补货请求;补货任务 Agent 作为客户每天补货任务的代理,在每个配送周期开始前由配送中心 Agent 根据需要动态生成,它负责任务的安排下发;车辆 Agent 与实际配送设备相对应,负责完成商品的补货。这里的车辆 Agent 不再是传统方法中被动接受任务指派的运输工具,而是一个具有自治特性的智能实体,通过一定的知识推理能力,与其他车辆 Agent 相互竞争补货任务,主动争取任务安排。这些 Agent 都是自治的实体,多个 Agent 组成一个分布式的 MAS 模型,它们既相互独立,分别管理各自内部的信息,又能互相合作,交互信息以实现整个系统的目标。各 Agent 类的具体功能如表 1 所示。

表 1 IRP 问题中的 Agent 分类

类型	说明
配送中心 Agent	根据客户 Agent 发送回来的信息(包括库存水平、历史需求数据等)制定详细的客户补货计划,并根据时间、客户属性将计划分解成若干个补货任务,生成补货 Agent。
补货任务 Agent	客户每个周期的补货任务由一个 Agent 代表,它负责补货任务的管理,为补货任务安排相应的车辆执行配送。可以存在多个补货任务 Agent,但客户在单个周期内仅限一个补货 Agent。
车辆 Agent	系统内完成配送任务的运输车辆由车辆 Agent 代表,车辆 Agent 之间代表不同车辆与补货任务 Agent 竞标补货任务。
客户 Agent	在库存控制策略准则下,与配送中心进行信息交互,确定实际的补货任务。

在建立的这个 IRP 问题 MAS 模型中,包括 1 个配送中心 Agent, N 个已知的客户 Agent, 若干个动态生成与消亡的补货任务 Agent 以及 M 个已知的车辆 Agent, 各 Agent 相互协调,合作实现系统总目标。基于多代理系统的体系结构如图 1 所示。

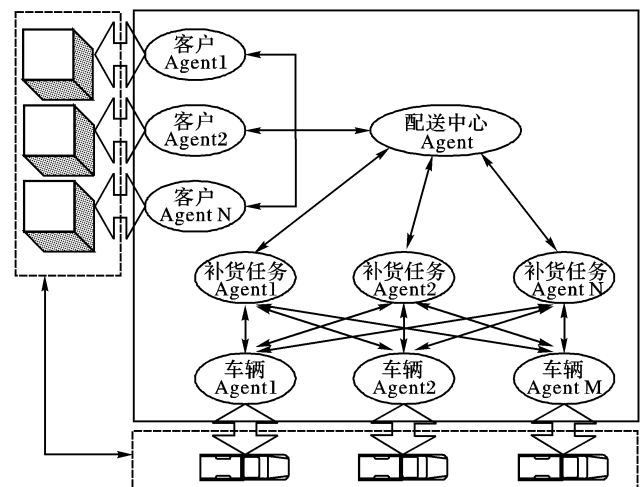


图 1 基于多代理系统的 IRP 问题仿真模型体系结构

3.2 MAS 模型中多 Agent 间的协调

在 IRP 系统中,尽管配送中心、车辆以及客户等成员都具有自治性、自主性,但整个系统的物流、信息流和资金流都是在客户需求驱动下进行流动的。因此,为了满足系统内部信

息共享的要求,实体对应的 Agent 之间采用黑板机制实现重要数据共享,并通过消息传递的方式进行交互、协商。在 IRP 问题的 MAS 模型中,

1) 配送中心 Agent 从客户 Agent 提交的库存信息制定客户补货计划,并将之细化,在每个配送周期内生成若干个配送任务 Agent。每一个配送任务 Agent 包含客户属性、时间属性和产品数量属性,代表周期内需要配送的客户及其需求的产品量。

2) 补货任务 Agent 扮演招标者,在招标信息公告板中并发向所有的车辆 Agent 公布招标信息,车辆 Agent,即投标者,根据标书内容和自身的能力和已有限制条件决定是否投标。任务 Agent 通过对投标者的标书进行评价,选出其中一个作为中标者,对其发出中标通知,把补货配送任务分配给它,于是一个合同就在招标者和投标者间建立起来了。车辆 Agent 更新自身知识库,执行配送任务并返回结果,向补货任务 Agent 发出终止合同信文,宣告合同结束。

3) 最后,补货任务 Agent 再把配送任务综合,将其完成情况提交给配送中心 Agent,并注销该补货任务 Agent。

通过上述多 Agent 间协调得到最终策略仅仅是可行解,不一定是优化解。最优补货策略的制定受到多方面因素的影响,客户补货计划的细化、补货任务的分配等都制约着最有策略的形成。

4 结语

本文将分布式人工智能领域中 Agent 概念应用于 IRP 问题分析求解中,将实体功能映射成具有自治性的 Agent,构建成 MAS 模型,并简要概述了该模型处理 IRP 问题的流程。这项利用智能化方法求解 NP 难题的研究尚处于初步阶段,许多实现细节有待进一步完善,这些工作包括:

1) 客户补货计划的细化与协调。根据客户需求的变化制定合适、合理的补货计划,平衡与协调多个客户对供应商资源的需求。

2) 补货任务的具体分配。选择合理的分配机制,将补货任务安排适合的车辆进行补货。

(上接第 266 页)

(即 $N - m = 2$ 时),标准值与反馈值的和之间的差值就是失效节点的标识值。

利用简单的差值计算可以很容易地确定失效节点的标识,因此本算法具有良好的容错性。这样,如果发现某一节点通信不正常,并且在系统定义的延迟阈值内没有收到任何回复消息,则可以认为该节点失效,将失效节点从通信链表中删除。

在最坏的情况下,如果在同一个周期内有多个节点失效(即 $N - m > 2$ 时),那么系统就需要逐个排查所有反馈消息所对应的节点标识,这时所要消耗的系统时间会大大增加,其算法的复杂度为 $O(n^2)$ 。

3.3 网络效率

由于 ZSS 系统将节点标识、更新信息、控制信息都嵌入到消息中,所以每个周期内管理域中 N 个节点传递的消息数量为 $2(N - 1)$ 。对于短消息传递方式,这种周期通信方式对网络负载的影响是有限的。

4 结语

在分布式异构环境中,周期性通信是分布式资源进行信

3) 补货计划与运输调度的协调。前两个问题是对局部问题的研究,针对 IRP 问题,需要协调库存控制与运输调度,满足系统总目标。

4) 动态环境的适应。现有的研究大多假设环境处于静态的,而对变化的环境没有涉及,MAS 模型具备的松散结构型非常适合环境频繁的变化,因而有待深入研究。

该研究引入 MAS 建模理论与技术,开展基于 Agent 的库存控制与运输调度研究,解决了 IRP 这类 NP 难题的智能化求解、优化及其协调冲突等问题,为复杂系统的分析、决策与控制提供一条可行的途径。

参考文献:

- [1] ANILY S, FEDERGRUEN A. A Class of Euclidean Routing Problems with General Route Cost Function[J]. Mathematics of Operations Research, 1990, 15(2): 268 - 285.
- [2] BARD JF, HUANG L, JAILLET P, *et al.* A Decomposition Approach to the Inventory Routing Problem with Satellite Facilities[J]. Transportation Science, 1998, 32(2): 189 - 203.
- [3] BRAMEL J, SIMCHI-LEVI D. A Location Based Heuristic for General Routing Problems[J]. Operation Research, 1995, 43(4): 649 - 660.
- [4] BURNS LD, HALL RW, BLUMENFELD DE, *et al.* Distribution Strategies that Minimize Transportation Inventory Cost[J]. Operation Research, 1985, 33(3): 469 - 490.
- [5] CHIEN TW, BALAKRISHNAN A, WONG RT. An Integrated Inventory Allocation and Vehicle Routing Problem[J]. Transportation Science, 1989, 23(2): 67 - 76.
- [6] SCHWARZ LB. A Simple Continuous Review Deterministic One-Ware N-Retailer Inventory Problem [J]. Management Science, 1973, 19(5): 555 - 566.
- [7] 李军, 刘建新. 第三方存贮—路径问题研究综述[J]. 科学技术与工程, 2004, 4(4): 325 - 328.
- [8] 杨帆, 萧德云. 基于 Agent 的流程工业制造执行系统结构研究[J]. 计算机集成制造系统——CIMS, 2003, 9(2): 23 - 27.

息交换的有效方式。本文提出的周期终止算法实际上是对分布式通信的终止判断。该算法采用了连续的节点标识,既作为消息的标识又作为终止判断的计算数据,是一个实用、高效而简单的终止判断算法。

参考文献:

- [1] MATTERN F. Global quiescence detection based on credit distribution and recovery[J]. Information Processing Letters, 1989, 30(4): 195 - 200.
- [2] TEL G. Introduction to Distributed Algorithm[M]. 2nd ed., Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 270 - 276.
- [3] 刘旭民, 苏运霖. 对一个分布式终止探测算法的改进[J]. 软件学报, 2003, 14(1): 49 - 53.
- [4] TSENG Y. Detecting termination by weight-throwing in a faulty distributed system[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 1995, 25(1): 7 - 15.
- [5] MANABEA Y, TAJIMAB N. (h; k) -Arbiters for h-out-of-k mutual exclusion problem [J]. Theoretical Computer Science, 2004, 310(1 - 3): 379 - 392.