

白世贞,付秀琴,王婷婷.农产品冷藏链任务分配协调策略研究[J].江苏农业科学,2018,46(18):316-322.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.18.074

农产品冷藏链任务分配协调策略研究

白世贞,付秀琴,王婷婷

(哈尔滨商业大学管理学院,黑龙江哈尔滨 150028)

摘要:农产品冷藏链中各个主体企业追求自身利益最大化的目标理念,会促使各个企业在合作过程中做出不利于整个供应链的行为,主体企业与主体企业间的信息不对称,会出现农产品冷藏链任务分配不协调的问题。农产品冷藏链任务分配的不协调不仅损害各个主体企业的利益,而且影响农产品冷藏链的稳定和发展。在农产品冷藏链运作过程中,如何协调任务分配问题,是保障农产品冷藏链主体企业利益和整体稳定的关键。建立农产品冷藏链任务分配模型,提出协商协议以及协商算法,并采用实际算例检验其有效性,说明协商是一种有效的合作协调方法,为农产品冷藏链上企业进行任务分配协调提供理论和模型支持,有助于促进农产品冷藏链健康发展,降低农产品损耗,保障消费者食品安全。

关键词:农产品冷藏链;信息不对称;任务分配;协调;协商算法

中图分类号: F252 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)18-0316-07

我国一直是农业大国,农产品贸易额正在逐年增长,农产品的市场需求非常大,但在很长一段时间内,存在着重视生产、轻视流通的落后思想^[1],这种思想严重阻碍了农产品的快速流通,影响了农产品的质量安全,使得生产、供应、销售为一体的农产品流通过程经常出现脱节现象,降低了流通效率^[2]。农产品的供应依然应用原来的储存、运输形式,运输储存设备设施陈旧,任务分配主体和任务承担主体之间缺乏足够的协调,导致农产品损耗严重,安全事故频发^[3]。

冷藏链的概念最早出现在19世纪90年代。1940年是冷链发展的一个重要转折点,在那之后,早期发展缓慢且不被认可的冷链获得相当大的发展^[4-6]。21世纪初,美国出现了

一个新型组织——冷链协会,容易腐坏的食品须在适宜的温度下进行运输,冷链协会就是对这个低温冷藏运输过程进行控制的组织^[7]。冷链协会是非盈利组织,它的研究对象是容易腐坏的食品,为这种低温食品运输发展的合理化制定完善的经济技术指标体系,并提供相应的指导^[8]。2004年,冷链协会发布了一系列质量标准,用于测试冷藏链运行中各个主体成员在各个方面的业务水平,判断其可靠性,为冷藏链行业的长久稳定运行提出标准认证^[9]。

Chan等提出任务分配是供应链管理中的一项重要问题,任务分配的效率会直接影响整个系统的运行效率,任务分配机制的好坏也会影响到系统全局资源的有效配置,因此任务分配是一个必须要抓紧解决的重要问题,在供应链出现的任务分配和协调问题影响了供应链的稳定性和可靠性^[10]。任务分配理论的研究发展过程可以分成以下3个不同的阶段:一是基础阶段,结合运筹学的相关知识,建立了经典的任务分配理论,任务分配基础阶段有比较明确的过程^[11];二是发展阶段,结合分布式系统的相关知识,发展了经典的任务分配理论,任务分配发展阶段是基础与智能2个阶段的过渡实施^[12];三是智能阶段,结合了分布式问题求解的相关知识,许

收稿日期:2017-04-05

基金项目:国家自然科学基金(编号:71371061)。

作者简介:白世贞(1962—),男,山东烟台人,博士,教授,博士生导师,从事物流与供应链管理等方面的研究。E-mail:chenhuafei_80@126.com。

通信作者:付秀琴,硕士,从事物流与供应链管理等方面的研究。E-mail:fuxiuqin1102@163.com。

数据为例[J].长江流域资源与环境,2015,24(9):1464-1470.

[7]吴好,姜珊珊.甘肃省土地集约利用与经济耦合协调发展评价研究[J].水土保持研究,2012,19(6):217-222.

[8]潘竟虎,郑凤娟,杨东.甘肃省土地集约利用与经济发 展的时空差异分析[J].资源科学,2011,33(4):684-689.

[9]单卓然,黄亚平.“新型城镇化”概念内涵、目标内容、规划策略及认知误区解析[J].城市规划学刊,2013(2):16-22.

[10]涂建军,何海林.重庆市新型城镇化测度及其时空格局演变特征[J].西南大学学报(自然科学版),2014,36(6):128-134.

[11]刘静玉,刘玉振,邵宁宁,等.河南省新型城镇化的空间格局演变研究[J].地域研究与开发,2012,31(5):143-147.

[12]于伟,张鹏.基于网络分析法的山东省新型城镇化空间特征研究[J].地理与地理信息科学,2017,33(1):89-94.

[13]罗小锋,袁青.新型城镇化与农业技术进步的时空耦合关系[J].华南农业大学学报(社会科学版),2017,16(2):19-27.

[14]孙叶飞,夏青,周敏.新型城镇化发展与产业结构变迁的经济增长效应[J].数量经济技术经济研究,2016(11):23-40.

[15]纪颖波,窦玉丹.新型城镇化与交通基础设施协调发展[J].学术交流,2016(7):127-132.

[16]丁浩,余志林,王家明.新型城镇化与经济发 展的时空耦合协调研究[J].统计与决策,2016(11):122-125.

[17]张超,李丁,魏秀梅,等.西北河谷型城市新型城镇化与土地利用效益耦合协调发展研究——以兰州市为例[J].兰州大学学报(自然科学版),2015,51(2):173-179.

[18]彭冲,陈乐一,韩峰.新型城镇化与土地集约利用的时空演变及关系[J].地理研究,2014,33(11):2005-2020.

多先进领域的技术都被应用到这个任务分配过程中^[13]。目前,国外使用不同的研究方法和数学工具来进行更广泛的任务分配智能化研究,研究所用到的方法和数学工具也是多种多样的。Weerdt等引入人工智能代理技术来解决制造系统零件加工顺序的选择和分配问题^[14]。Jiao等提出了一种基于4个代理加工任务分配模型,该模型被应用于制造系统^[15]。Frayret等建立的供应链模型是基于多代理的,并提出了相应的任务分配机制,既可避免谈判僵局,又能快速重建^[16]。

农产品冷链链任务分配环境具有不确定性,这种不确定性,一方面是由于外部环境的变化接到新任务,如农产品增收,相应的任务就会增加^[17];另一方面是由于内部资源能力的限制,之前分配出去的任务执行失败,例如农产品冷链链上的运输任务要求快速、保质、保量完成,当运输过程中,路面交通情况不好,而任务承担主体运输路径优化的能力又较弱时,就可能会出现不能按时结束运输任务的情况^[18]。当遇到新任务出现或之前执行的任务失败时,农产品冷链链上的任务分配主体和任务承担主体还应该继续磋商研究任务的重新分配过程^[19]。此外,在开放的农产品冷链链环境下,它是一个动态且信息不完整的任务分配过程^[20]。农产品冷链链上的主体应该继续谈判,任务分配决策者在每个观测点(新的任务或任务执行失败的情况)应该做出决定(任务分配或重新分配),做决定时不知道下一个观测点及其他相关主体的策略信息^[21]。农产品冷链链上的主体都有能力及资源完成任务,但由于能力及资源的限制,可能某一个主体无法完成某些任务或无法比其他主体更高效地完成,因此,农产品冷链链上的任务分配主体与任务承担主体之间须要建立有效的合作来完成^[22]。

现有文献对农产品冷链链的研究尚处在定性层面,对任务分配协调的研究主要集中在普通供应链上,缺乏对农产品冷链链任务分配协调的相关研究。本研究将根据农产品冷链链任务分配的特征,建立农产品冷链链任务分配模型,利用协商思想提出相应的协议及算法,以期促进农产品冷链链上任务分配的有效进行。

1 农产品冷链链任务分配模型构建

1.1 模型变量描述

在农产品冷链链环境中,任务分配的过程可以用 (T, A, P, C) 表示,其中各个符号的含义如下:

T 指单个农产品冷链链主体无法完成的1个任务集, $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{16}\}$,其中每一个子任务 $t_i (i = 1, 2, \dots, 16)$ 都能再分解。农产品冷链链上待完成的任务及对应的符号如表1所示。

农产品冷链链上的任务分配和一般供应链上的任务分配相比有一定的特殊性,具体体现在对完成任务所需的技术、资源、质量、时间、装备、信息监控的要求等方面。农产品冷链链上的任务 t_i 可以用三元组 (B_i, TER_i, Y_i) 表示,其中 B_i 指农产品冷链链上任务的能力需求向量, $B_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}) (m = 1, 2, \dots, n)$,分量 b_{im} 表示该任务的能力需求,即为了完成该项任务所需的能力,例如,冷藏运输任务的能力需求为运输线路优化、冷藏汽车监控等;冷藏加工任务的能力需求为具有冷藏

表1 农产品冷链链上待完成的任务及对应的符号

符号	含义	符号	含义
t_1	生产	t_9	分拣
t_2	前处理	t_{10}	配送
t_3	运输	t_{11}	商品集散
t_4	预冷	t_{12}	形成价格
t_5	缓化	t_{13}	传递信息
t_6	加工	t_{14}	调节供求
t_7	包装	t_{15}	展示
t_8	储存	t_{16}	销售

加工间等;冷藏链存储任务的能力需求为原料、成品冷藏存储等;冷藏链销售任务的能力需求为具备专业销售人员、专业冷藏销售渠道等;冷藏链温度湿度监控任务的能力需求为温度湿度监督、温度湿度信息反馈、温度湿度调节控制等。 TER_i 指农产品冷链链上任务的技术、设备、人力、资金、管理等资源需求向量, $TER_i = (ter_{i1}, ter_{i2}, \dots, ter_{im}) (m = 1, 2, \dots, n)$,分量 ter_{im} 表示该任务的资源需求,即为了完成该项任务所需的资源,例如,对农产品冷链链上任务的技术资源的需求包括物流信息技术、低温运输技术、仓储制冷技术、监控(温度、湿度、车辆)技术等;设备资源的需求包括冷冻加工设备(冷却、冰冻、速冻装置)、冷藏存储设备(冷藏库、冷藏处理室、冷藏柜、冷柜、冰箱)、低温冷藏运输设备(冷藏运输车、冷藏保温集装箱)、冷冻销售设备(冷藏冷冻双功能陈列柜、温控储藏库)等。 Y_i 指农产品冷链链上任务的要求向量, $Y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im}) (m = 1, 2, \dots, n)$,分量 y_{im} 表示完成该任务的要求,例如,农产品冷藏对运输质量、运输时间等的要求,农产品冷藏对存储质量、卫生环境等的要求,农产品冷藏对装备等的要求,农产品冷藏对温度、湿度等的要求,农产品冷藏对信息有效传递的要求。

A 指具有潜力及资源完成任务集 T 的农产品冷链链上主体的集合, $A = \{A_1, A_2, \dots, A_j\} (j = 1, 2, \dots, 12)$,产品冷链链上的主体及对应的符号如表2所示。农产品冷链链上的主体 A_j 使用五元组 $[N_j, Z_j(t), H_j(t), G_j, T_j]$ 表示。五元组中各个符号的含义如下: N_j 指农产品冷链链上主体的能力向量, $N_j = (n_{j1}, n_{j2}, \dots, n_{ji}) (j = 1, 2, \dots, 12; i = 1, 2, \dots, 16)$,分量 n_{ji} 表示其完成任务的能力, $n_{ji} \geq 0$ 。如为了完成任务要求,农产品冷链链上主体应该具备运输线路优化、冷藏汽车监控、冷藏加工间、原料、成品冷藏存储、专业销售人员、专业冷藏销售渠道、温度湿度监督、温度湿度信息反馈、温度湿度调节控制等各项能力。农产品冷链链每一个主体的能力信息都是公开的,因此任意一个主体既能够做到自知又能够了解其他相关主体的能力。 $Z_j(t)$ 指农产品冷链链上主体 A_j 的资源向量, $Z_j(t) = [z_{j1}(t), z_{j2}(t), \dots, z_{ji}(t)] (j = 1, 2, \dots, 12; i = 1, 2, \dots, 16)$,其中分量 $z_{ji}(t)$ 表示在 t 时间内农产品冷链链上主体用以完成任务的资源, $z_{ji}(t) \geq 0$,这类资源会因外部环境变化而改化,如为完成任务所需的物流信息技术、冷藏运输技术、仓储冷藏保鲜技术、监控(温度、湿度、车辆)技术、冷冻加工设备(冷却、冰冻、速冻装置)、冷藏存储设备(冷藏库、冷藏处理室、冷藏柜、冷柜、冰箱)、低温冷藏运输设备(冷藏运输车、冷藏保温集装箱)、冷冻销售设备(冷藏冷冻双功能陈列柜、温控储藏库)、原料、人力、资金等各项资源。农产品冷链链上主

体的资源信息属于内部信息,因此任意一个主体只能够做到自知,却不能打探到其他主体的相关资料。 $H_j(t)$ 指在 t 时间内与农产品冷藏链上主体 A_j 有关的各项环境信息,这一信息会随着时间的变化而变化,可用一个四元组 $[Q_j(t), S_j(t), I_j(t), L_j(t)]$ 表示,其中 $Q_j(t)$ 表示 t 时间内农产品的需求信息; $S_j(t)$ 表示 t 时间内农产品的供应信息; $I_j(t)$ 表示 t 时间内经济利率信息; $L_j(t)$ 表示 t 时间内交通和路面信息。 G_j 指农产品冷藏链上主体 A_j 的知识和信仰集,如预估农产品冷藏链上其他主体实际能力信息的知识以及制定相应决策的知识。 T_j 指农产品冷藏链上主体 A_j 须要执行的任务集, $T_j = \{t_{ij}(b_l, e_l), t_{2j}(b_2, e_2), \dots, t_{lj}(b_l, e_l)\}$, 其中 $t_{lj}(b_l, e_l)$ ($l=1, 2, \dots, 16$), 表示子任务 $t_{ij}(b_l, e_l)$ 起始时间是 b_l , 完成时间是 e_l , 或 $T_j = \phi$ 。这个任务的集并不是一成不变的,当外界出现变化时,这个任务集合也会出现相应的变化,例如,原始任务结束和出现新任务时等,任务集就会进行变更。

表2 农产品冷藏链上的主体及对应的符号

符号	含义	符号	含义
A_1	散户	A_7	批发市场
A_2	批量种植养殖户	A_8	物流中心
A_3	生产基地	A_9	配送中心
A_4	冷库	A_{10}	超市
A_5	农产品初加工企业	A_{11}	农贸市场
A_6	农产品深加工企业	A_{12}	连锁零售店

P 指农产品冷藏链上主体 A_j 在完成子任务 T 后获得的收益, $P = \{(p_{ij} + p_{br})\}$, 其中 p_{ij} 是农产品冷藏链上主体 A_j 完成子任务 t_i 获得的资金收益, 农产品冷藏链上的任务分配主体须要支付给任务承担主体的报酬是 p_{ij} ; p_{br} 是农产品冷藏链上主体 A_j 完成子任务 t_i 后得到的商誉, 即如果任务分配主体对 A_j 完成 t_i 的结果很满意, 未来有意愿与主体 A_j 继续合作, 主体 A_j 就得到了 p_{br} , 但农产品冷藏链上的任务分配主体不必支付给任务承担主体 p_{br} , 如果子任务 t_i 没有完成, 那么 $p_{ij} = 0, p_{br} = 0$ 。

C 指农产品冷藏链上主体 A_j 为完成子任务 T 须付出的成本, $C = \{(c_{ij})\}$, 其中 c_{ij} 是农产品冷藏链上主体 A_j 为完成子任务 t_i 须付出的成本, 总成本 C 包括前期引进冷藏运送技术、仓储保鲜技术、购买冷藏运送存储设备等投入的固定成本 C_f , 中期任务执行过程中所花费的可变成本 C_v , 以及完成该项任务 T 运用资金增加的机会成本 C_0 , 即 $C = C_f + C_v + C_0$ 。

1.2 模型建立

根据以上描述, 若 $x_{ij} = 1$ 表示任务 t_i 交给 A_j 执行; $x_{ij} = 0$ 表示任务 t_i 没有交给 A_j 执行。从农产品冷藏链上主体 A_j 的角度来看, 多个主体 A_j 分工合作完成为其分配的任务, 终极目标是花费的成本 (G_c) 最小, 获得的利润 (G_b) 最大, 可由公式(1)、公式(2)表示:

$$G_c = \min \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{12} (p_{ij} \times x_{ij}); \quad (1)$$

$$G_b = \max \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{12} (p_{ij} - c_{ij}) x_{ij};$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^{12} x_{ij} \in (0, 1) \\ i = 1, 2, \dots, 16 \\ \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{12} n_{ij} \times x_{ij} \geq \sum_{i=1}^{16} b_i \\ \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{12} z_{ij} \times x_{ij} \geq \sum_{i=1}^{16} TER_i \\ x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1 \end{cases} \quad (2)$$

2 协商协议

在农产品冷藏链任务分配过程中, 每一个农产品冷藏链上的主体既可以是任务的分配主体, 也可以是任务的承担主体。农产品冷藏链上各项任务的分配由任务分配主体来完成, 这是因为这些任务分配主体不具备相应的能力执行任务或并不是最佳选择。农产品冷藏链上任务分配主体的目的是在众多任务承担主体中选出成本最低的任务承担主体, 在任务的执行过程中, 对任务的承担主体进行监督, 并处理执行结果。农产品冷藏链上的任何一个主体都不会被事先认定为任务的分配主体或承担主体, 而是在农产品冷藏链任务分配过程中逐步形成并不断变化的, 可能会出现农产品冷藏链中一项任务的分配主体同时也是另一项任务的承担主体的情况。当农产品冷藏链上的主体执行任务失败或新任务到来时, 将启动新一轮谈判。基于农产品冷藏链任务分配目标的顺利实现, 本研究提出2种类型的互动协议: 一种是任务分配主体 - 任务承担主体协商协议, 另一种是任务承担主体 - 任务承担主体协商协议。

2.1 任务分配主体 - 任务承担主体协商协议

农产品冷藏链任务的分配主体因为自己缺乏相关的执行任务的能力或并不是最佳选择, 因此, 农产品冷藏链上任务分配的主要依据是农产品冷藏链上任务的能力需求 B_i 。冷藏运输任务的能力需求为运输线路优化、冷藏运送设备设施监控; 冷藏加工任务的能力需求为具有冷藏加工间; 冷藏链存储任务的能力需求为原料、成品冷藏存储; 冷藏链销售任务的能力需求为具备专业销售人员、专业冷藏销售渠道; 冷藏链温度湿度监控任务的能力需求为温度湿度监督、温度湿度信息反馈、温度湿度调节控制等, 在众多农产品冷藏链任务承担主体中依据报酬最低的标准选择某个或某些任务承担主体来完成该任务, 且任务承担主体能够满足农产品冷藏链上任务的要求 Y_i 以及资源需求 TER_i 。

本研究在农产品冷藏链任务分配主体 - 任务承担主体之间加入了协商过程, 目的在于积极促成任务分配主体和多个任务承担主体之间磋商合作。

农产品冷藏链上任务的分配主体确定所要分配的任务集 $T^m = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, 根据任务集 $T^m = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ 的能力需求 B_i , 分析并找出完成任务集 $T^m = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ 适合的农产品冷藏链上主体 A_j 的类型, 并把与任务集 T 相关的信息发送到适合的农产品冷藏链主体 A_j , 附加反馈信息的截止时间、农产品冷藏链上任务的要求 Y_i 、资源需求 TER_i , 以及合作的条件信息发送给相关的农产品冷藏链主体 A_j 。因此, 可以用五元组 $(TAID, TE, T^m, YS^m, ET)$ 表示农产品冷藏链上任务的广播信息, 其中 $TAID$ 为任务分配主体的标志符; TE 为任务承担主体; T^m 为须要完成的任务集; YS^m 为完成任务集 T 的约束条件 (Y_i, TER_i, \dots); ET 为反馈信息的截止时间。

相关的农产品冷藏链任务承担主体接到信息后, 为了获得该项任务, 相关的农产品冷藏链任务承担主体会根据自身的能力、资源情况, 判断是否符合农产品冷藏链上任务的能力需求 B_i 、要求 Y_i 、资源需求 TER_i 等, 再分析其他任务承担主体的相关信息 N_j , 做出相应的反馈信息。协议规定了拒绝 (turn down)、不理解 (incomprehension)、同意 (agree) 等3种

处理信息的形式。同意的情况可以用五元组 ($TAID$, $Executor^j$, T^j , P^j , TS^j) 来表示,其中 $TAID$ 为任务分配主体的标志符; $Executor^j$ 为执行该任务集的任务承担主体; T^j 为任务承担主体可以执行的部分任务集; P^j 为完成任务集 T^j 所需要的报酬; TS^j 为任务承担主体执行任务集 T^j 具备的条件。

在反馈信息截止时间内,农产品冷藏链上任务分配主体接收所有任务承担主体的反馈信息,结合任务承担主体的反馈信息,农产品冷藏链上任务分配主体可以有 3 种回应方式:同意某一任务承担主体 (agree)、拒绝所有任务承担主体 (turn down)、建议某些任务承担主体合作完成任务 (suggest)。如果任务承担主体接收到任务分配主体的建议,有 2 种信息反馈给任务分配主体:拒绝 (turn down)、同意以及将新的计划信息反馈给任务分配主体 (agree)。如果任务承担主体发送了一份重新制定过的计划给任务分配主体,那么任务分配主体对这份重新制定过的反馈计划,既可以接受,也可以无条件拒绝。如果任务分配主体接受了某个或某些任务承担主体的最终反馈信息,那么将该项任务分配给选定的任务承担主体,任务结束后,选定的任务承担主体再把执行结果返回到任务分配主体处。

2.2 任务承担主体-任务承担主体协商协议

农产品冷藏链上任务的承担主体可以有 2 种选择:一是独立参与完成任务,二是和其他任务承担主体共同参与完成任务。现对农产品冷藏链任务承担主体在合作过程中所采用的随机提案协商协议描述如下:

(1) 根据农产品冷藏链任务分配主体发布的任务,任意一个相关的农产品冷藏链任务承担主体可以结合自身的能力、资源情况、农产品冷藏链上任务的要求 Y_i 、资源需求 TER_i 信息,向其他相关的任务承担主体提出合作完成任务的提案。

(2) 各农产品冷藏链任务承担主体须在收到提案后,选择接受该建议 (“是”)、拒绝该建议 (“否”)、退出谈判进程 (“退出”)。如果这项建议的所有相关任务承担主体可以接受,也就是说任意一个任务承担主体在收到建议后都选择了 “是”,那么谈判进程就结束了,相应任务承担主体根据提案的内容合作完成任务。如果谈判过程中,有一个或几个任务承担主体拒绝了这项建议,但并没有退出谈判进程,则将继续进行多轮磋商,直到出现一个使所有任务承担主体都满意的建议,这个建议能够满足谈判过程终止的条件,就可以结束谈判,共同合作完成任务。如果出现相关的任务承担主体单方面退出谈判进程的情况,那么谈判过程就可以结束,合作破裂。在这个协议中,各加入谈判的农产品冷藏链任务承担主体都以同样的概率提出建议,这样的协议更现实、更有效。

3 协商算法

多智能体系统是智能体目前比较活跃的研究方向,这个系统由很多个智能体组成,其中每个智能体的结构和功能都很简单,通过环境感知单元获取外界信息,并通过任务执行单元以及通讯单元与系统中的其他智能体交互合作,将要完成的任务添加到任务表中,利用信息处理单元初步处理信息,再利用决策与控制单元结合智能体内部的知识储备进一步分析从外界获取的环境信息和其他智能体信息,从而制定适当的决策。多个智能体相互协作形成了更加强大的功能,拓展了

各自的知识库。独立的智能体所具备的知识、能力都是有限的,它们的行为具有自治性。多智能体系统的原理就是借助协议将这些独立的智能体联合在一起,通过协商、合作共同解决独立的智能体没有能力完成或无法高效完成的任务或目标。

从公式(1)、公式(2)可以看出,农产品冷藏链任务分配主体的目标是在众多任务承担主体中找到能够完成任务并且报酬最低的任务承担主体。例如,在对农产品冷藏链上的运输任务进行分配时,最优的任务承担主体应该是能够使农产品按时、保质、保量地运达目的地的任务承担主体,且收取的报酬最低;任务承担主体的目标是收取更多的报酬。因此,农产品冷藏链上任务分配主体和任务承担主体两者分别存在不同的协商算法。

3.1 任务分配多智能体系统的协商算法

(1) 当农产品冷藏链上的任务须要农产品冷藏链的相应主体完成,使得一任务集 $T^m = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ 须要交给农产品冷藏链上任务承担主体时,发布任务的主体就成为了任务集 T^m 的任务分配主体,农产品冷藏链上的任务分配主体要考虑哪些任务承担主体有能力完成农产品冷藏链上的任务,也就是说任务承担主体的能力 N_j 要与农产品冷藏链上的任务能力需求 B_i 有交集,即 $B_i \cap N_j \neq \phi$,且 $\sum_{j=1}^l N_j = B_i (i=1, 2, \dots, s)$,发布任务集 T^m ,执行任务须具备的相关条件以及最后期限用 ($TAID, TE, T^m, YS^m, ET$) 表示。

(2) 任务发布以后,农产品冷藏链上任务分配主体开始接收相应的农产品冷藏链任务承担主体的信息,即 ($TAID, Executor^j, T^j, P^j, YS^j$) ($j=1, 2, \dots, l$),直到截止时间才停止接收信息。

(3) 如果 $\bigcup_{j=1}^l T^j = T^m$,任务承担主体的资源量 Z_j 满足农产品冷藏链上任务的资源需求 TER_i ,且任务承担主体的知识和信仰 G_j 符合任务的要求 Y_i ,就转入步骤(4),否则就表示这些任务承担主体不能完成任务集 T^m 。

(4) 如果 $T^j = \{t_h^j | t_h^j = \alpha_h^j \times t_i^m, \alpha_h^j = 1, h=1, 2, \dots, s, j=1, 2, \dots, k\}$,就是指每一个子任务都可以由农产品冷藏链上的一个任务承担主体单独完成(其中 α_h^j 表示参与主体 A_j 在合作中的参与度),则农产品冷藏链上的任务分配问题就变成相对简单的任务分配,任务分配主体的主要目标是要用最低额度的报酬 p_i^{min} (min, p_{ij}) 完成各项子任务 $t_i^m (i=1, 2, \dots, q)$,农产品冷藏链上任务分配主体的目标可以借助公式(3)、公式(4)实现:

$$G_{gm} = \sum_{i=1}^k \min p_{ij} = \sum_{i=1}^k p_i^{min}, \text{ s. t. } p_i^{min} \leq \mu_i^m (i=1, 2, \dots, k); (3)$$

$$T_j = \{t_h^j | t_h^j = \alpha_h^j \times t_i^m, \alpha_h^j \leq 1, h=1, 2, \dots, s, j=1, 2, \dots, k\}。 (4)$$

式中: μ_i^m 表示子任务 t_i^m 对农产品冷藏链上任务分配主体的价值; $\alpha_h^j < 1$ 表示子任务集 T_{ij}^m 须要某些任务承担主体合作执行; $\alpha_h^j = 1$ 表示子任务集 T_{ij}^m 通过一些任务承担主体单独执行。

因此,农产品冷藏链上任务分配主体分配任务集 T^m 分为 2 个部分:第 1 个部分属于 T_{ij}^m 的分配问题,第 2 个部分属于 T_{ij}^m 的分配问题,也就是说, $T^m = T_{ij}^m + T_{ij}^m$ 。 T_{ij}^m 的分配问题比

较简单,对于 T_{bf}^m 的分配,农产品冷藏链上任务分配主体将农产品冷藏链上其他任务承担主体的反馈信息[($Executor^j$, $\{t_h^j, h=1, 2, \dots, s\}$, $\{p_h^j, h=1, 2, \dots, s\}$, YS^j)]发送到相关的任务承担主体,并提出议案合作执行子任务集 T_{bf}^m 。

(5)农产品冷藏链上的任务分配主体在一段时间的等待后,接到任务承担主体谈判的最终结果,任务分配主体选取子任务 t_i^m ($t_i^m \in T_{bf}^m$)的最低报酬。

3.2 任务承担多智能体系统的协商算法

农产品冷藏链上任务承担主体首先关注任务分配主体发布的消息,收到信息后根据任务的约束条件(Y_j , TER_j)以及自身的能力、资源[N_j , $Z_j(t)$, $H_j(t)$, G_j , T_j]等,对自身完成任务的能力进行预估,计算接受任务须要花费的总成本 C 及可能获得的报酬 P ,如果农产品冷藏链上的任务承担主体自身完成任务的能力 T_j 已经饱和,它将不会接受任务;如果任务承担主体完成任务的能力还没有饱和,那么它会参考环境信息 $H_j(t)$ [$Q_j(t)$, $S_j(t)$, $I_j(t)$, $L_j(t)$],考虑是否接受任务,然后反馈信息给任务分配主体。如果农产品冷藏链上任务分配主体把任务交给某一个任务承担主体执行,则任务完成后承担此项任务的任务承担主体须向任务分配主体返回一个任务完成的情况说明;如果任务分配主体提出让某些任务承担主体共同合作执行任务,则对应的任务承担主体开始进行磋商,并在磋商结束后,将最终结果反馈给任务分配主体。若双方意见达成一致,任务承担主体就执行任务,并将执行结果通知任务分配主体。

(1)农产品冷藏链上的任务承担主体 A_j 接收到农产品冷藏链上任务分配主体的反馈信息($Executor^j$, $\{t_h^j = \alpha_h^j \times t_i^m, t_i^m \in T_{bf}^m, 0 < \alpha_h^j < 1, h=1, 2, \dots, s\}$, $\{p_h^j, h=1, 2, \dots, s\}$, YS^j)后,对于任务 $t_i^m \in T_{bf}^m$,寻找能够完成子任务 t_i^m ($U_{j \in A_i}^j = t_i^m$)所有合作伙伴 $A^L = \{A_1^L, A_2^L, \dots, A_s^L\}$ 。

(2)农产品冷藏链上的任务承担主体 A_j 将了解的所有潜在在合作伙伴分成了2类,一类是含有该任务承担主体 A_j^L ($A_j^L = A_1^L, A_2^L, \dots, A_k^L$),另一类是不含有该任务承担主体 A_{L_e} ($A_{L_e}^L = \{A_{k+1}^L, A_{k+2}^L, \dots, A_s^L\}$)。首先从 A_e^L 组中,寻找可以执行任务 t_i^m 的最低回报 $p_e^{pi^*}$ 。

$$P_e^{pi^*} = \left\{ \min_{A_{1..s} \in A_e^L} [\min(\sum x_k^L \times p_k^i / \alpha_k^L + |A_{k+1}^L| \times \varepsilon)] \right\}; \quad (5)$$

$$\text{s. t. } \sum_{k \in A_{1..s}} x_k^L = 1, x_k^L \geq 0; \sum_{k \in A_{1..s}} a_k^L = 1, 0 \leq a_k^L \leq 1. \quad (6)$$

式中: p_k^i 表示完成合作任务要求获得的总报酬; x_k^L 表示潜在在合作伙伴 A_k^L 要求获得的报酬比率; a_k^L 表示潜在在合作主体 A_k^L 的合作参与度; ε 代表每一个任务承担主体在合作过程中需

要的信息反馈成本(沟通费用等)。

然后,找出所有比 $p_e^{pi^*}$ 低的合作伙伴,根据任务承担主体所要求的回报升序将它列入协商合作的列表 $A_{ib} = \{A_{ib}(1), A_{ib}(2), \dots, A_{ib}(Z)\}$,其中

$$A_{ib} = \arg \left\{ \min_{A_i^L \in A_i^L} \left[\sum_{k \in A_i^L} (x_k^h \times p_k^i / \alpha_k^h) + |A_k^L| \times \varepsilon \leq p_e^{pi^*} \right] \right\}, \quad (7)$$

$$\text{s. t. } \sum_{k \in A_{1..s}} x_k^h = 1, 0 \leq x_k^h \leq 1; \sum_{k \in A_{1..s}} a_k^h = 1, 0 \leq a_k^h \leq 1.$$

其中, x_k^h 表示协商合作伙伴 A_k^L 要求获得的报酬比率; a_k^h 表示协商合作主要 A_k^L 的合作参与度。

(3)如果 $A_{ib} = \phi$,那么农产品冷藏链上任务承担主体 A_j 将在 A_i^L 中寻找能完成任务 t_i^m 的最低回报的合作伙伴 A^{p^*} 。并建议 A^{p^*} 的任务承担主体合作完成任务,然后等待其他任务承担主体的答复。如果 A^{p^*} 中所有的任务承担主体都同意,则可以形成整体针对任务 t_i^m 进行承担,然后协商过程结束。

$$A^{p^*} = \arg \left\{ \min_{A_i^L \in A_i^L} \left[\min_{k \in A_i^L} \sum (x_k^h \times p_k^i / \alpha_k^h) + |A_k^L| \times \varepsilon \right] \right\}. \quad (8)$$

(4)如果在 A^{p^*} 中至少有1个任务承担主体不同意合作,则协商破裂。

(5)如果 $A_{ib} \neq \phi$,那么可以让 $k=1$ 。

(6)农产品冷藏链上某一个任务承担主体首先提出 $A_{ib}(k)$ 中的各个主体合作完成任务,再制定任务分配计划,接着等待其他相关的任务承担主体的答复。

(7)如果 $A_{ib}(k)$ 里面的任意一个任务承担主体都已同意并按照相应的任务分配计划进行合作,则再次向任务分配主体反馈信息,完成谈判。如果 $A_{ib}(k)$ 里面有一些任务承担主体不赞成提出的任务分配计划,则其他相关的任意一个任务承担主体都可以随机提出解决方案参与谈判。若可以达成一致,那么合作完成任务。若任务承担主体不能达成一致意见,存在 $k \leq z$,那么取 $k=k+1$,返回到步骤(6)。若还是不能达成一致,存在 $k > z$,则无法进行合作,协商结束。

4 算例分析

在这个实例中,一家位于黑龙江省哈尔滨市的农产品加工企业向4家分别位于鹤岗市、佳木斯市、大庆市、齐齐哈尔市的农产品销售商销售农产品,农产品加工企业农产品销售商的协议中规定送货工作由农产品加工企业完成,农产品加工企业决定利用专业化的第3方物流运输企业完成农产品运输的任务。因为此项运输任务涉及的农产品须要在 $0 \sim 5^\circ\text{C}$ 的冷藏环境下运输、储存,因此农产品加工企业承担运输任务的运输企业的能力、资源要求如表3所示。

表3 农产品加工企业承担运输任务的运输企业的能力、资源、要求等

项目	描述
能力	冷藏运输能力、冷藏储存能力、信息反馈能力、运输线路优化能力等
要求	按规定的时间完成运输,保证运输储存农产品的质量、数量、环境卫生、温度($0 \sim 5^\circ\text{C}$)等
技术	冷藏运输技术、冷藏仓储保鲜技术、信息技术(车辆位置跟踪确定、温度控制、条码技术)等
设备	冷藏汽车、自动化装卸设备设施、冷藏保温保鲜库、信息接收处理设备

农产品加工企业发布任务信息和任务要求,具体运输任务为 $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$,各项子运输任务的信息汇总如表4所示,其中,任务 t_1 的目的地是鹤岗市,运输的农产品总量是100 t,要求在7 h内送达;任务 t_2 的目的地是佳木斯市,运输

的农产品总量是100 t,要求在5 h内送达;任务 t_3 的目的地是大庆市,运输的农产品总量是100 t,要求在3 h内送达;任务 t_4 的目的地是齐齐哈尔市,运输的农产品总量是100 t,要求在5 h内送达。

表4 运输任务信息汇总

任务	始发地	目的地	农产品总量 (t)	送达时间限制 (h)
t_1	哈尔滨市	鹤岗市	100	7
t_2	哈尔滨市	佳木斯市	100	5
t_3	哈尔滨市	大庆市	100	3
t_4	哈尔滨市	齐齐哈尔市	100	5

表5 5家冷藏运输企业(A,B,C,D,E)的能力资源信息

企业	相关能力	相关技术	相关设备
A	冷藏运输能力、冷藏储存能力、信息反馈能力、运输线路优化等	冷藏运输技术、仓储冷藏保鲜技术、信息技术(车辆定位、温度控制、条码技术)等	拥有5辆50t的冷藏汽车,车上装有定位及温度监控系统,并能实时传输接收信息,拥有可以容纳300t产品的冷藏保温库,5套自动化装卸设备
B	冷藏运输能力、冷藏储存能力、信息反馈能力、运输线路优化等	冷藏运输技术、仓储冷藏保鲜技术、信息技术(车辆定位、温度控制、条码技术)等	拥有7辆50t的冷藏汽车,车上装有定位及温度监控系统,并能实时传输接收信息,拥有可以容纳350t产品的冷藏保温库,7套自动化装卸设备
C	冷藏运输能力、冷藏储存能力、信息反馈能力、运输线路优化等	冷藏运输技术、仓储冷藏保鲜技术、信息技术(车辆定位、温度控制、条码技术)等	拥有2辆50t的冷藏汽车,车上装有定位及温度监控系统,并能实时传输接收信息,拥有可以容纳150t产品的冷藏保温库,2套自动化装卸设备
D	冷藏运输能力、冷藏储存能力、信息反馈能力、运输线路优化等	冷藏运输技术、仓储冷藏保鲜技术、信息技术(车辆定位、温度控制、条码技术)等	拥有7辆60t的冷藏汽车,车上装有定位及温度监控系统,并能实时传输接收信息,拥有可以容纳450t产品的冷藏保温库,7套自动化装卸设备
E	冷藏运输能力、冷藏储存能力、信息反馈能力、运输线路优化等	冷藏运输技术、仓储冷藏保鲜技术、信息技术(车辆定位、温度控制、条码技术)等	拥有4辆80t的冷藏汽车,车上装有定位及温度监控系统,并能实时传输接收信息,拥有可以容纳350t产品的冷藏保温库,4套自动化装卸设备

(2)5家运输企业(A,B,C,D,E)接收到农产品冷藏运输任务信息后,在截止时间内,根据自身的经营状况、运输能力资源以及周围的运输环境路面信息等,计算完成任务所需要的成本,提出所要收取的报酬,决定是否参与运输任务,并将相应的运量及运价信息反馈给农产品加工企业。这个实例里面,E运输企业同一时间段内已经承接了很多运输任务,出现运输任务集饱和的情况,因此做出放弃参加运输任务竞争的决定,其他运输企业(A,B,C,D)相应的反馈信息如表6所示。运输企业A的信息{(100,12 000),(50,4 500),(30,1 800),(20,1 860)}表明A公司可以完成100 t t_1 ,要求农产品加工企业支付的报酬是12 000元;50 t t_2 ,要求农产品加工企业支付的报酬是4 500元;30 t t_3 ,要求农产品加工企业支付的报酬是1 800元;20 t t_4 ,要求农产品加工企业支付的报酬是1 860元。运输企业B的信息{(80,9 600),(100,9 300),(80,4 960),(50,4 500)}表明B公司可以完成80 t t_1 ,要求农产品加工企业支付的报酬是9 600元;100 t t_2 ,要求农产品加工企业支付的报酬是9 300元;80 t t_3 ,要求农产品加工企业支付的报酬是4 960元;50 t t_4 ,要求农产品加工企业支付的报酬是4 500元。运输企业C的信息{(100,13 000),(60,5 400),(100,6 500),(100,9 000)}表明C公司可以完成100 t t_1 ,要求农产品加工企业支付的报酬是13 000元;60 t t_2 ,要求农产品加工企业支付的报酬是5 400元;100 t t_3 ,要求农产品加工企业支付的报酬是6 500元;100 t t_4 ,要求农产品加工企业支付的报酬是9 000元。运输企业D的信息{(60,7 500),(50,4 550),(70,4 200),(80,7 280)}表明D公司可以完成60 t t_1 ,要求农产品加工企业支付的报酬是7 500元;50 t t_2 ,要求农产品加工企业支付的报酬是4 550元;70 t t_3 ,要求农产品加工企业支付的报酬是4 200元;80 t t_4 ,要求农产品加工企业支付的报酬是7 280元。

具体的任务分配过程如下:

(1)农产品加工企业在本地登记在册的运输企业中找到5家符合农产品冷藏运输任务能力要求的运输企业(A,B,C,D,E),将运输任务 $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$ 、约束条件以及反馈信息的截止时间发送到运输企业(A,B,C,D,E)。5家冷藏运输企业相关的能力资源信息如表5所示。

表6 4家冷藏运输企业(A,B,C,D)的运量及运价信息

任务	各企业的运量及运价信息			
	A	B	C	D
t_1	(100,12 000)	(80,9 600)	(100,13 000)	(60,7 500)
t_2	(50,4 500)	(100,9 300)	(60,5 400)	(50,4 550)
t_3	(30,1 800)	(80,4 960)	(100,6 500)	(70,4 200)
t_4	(20,1 860)	(50,4 500)	(100,9 000)	(80,7 280)

(3)基于4家运输公司反馈的运量及运价信息,农产品加工企业将子运输任务 t_1, t_4 分别交给既可以单独执行,要求农产品加工企业支付的报酬又最少的运输公司A、D,并给他们发送合作通知,然后继续等待运输公司A、D将任务完成的具体情况反馈给自己。同时提出方案让4家运输公司A、B、C、D共同磋商合作执行任务 t_2, t_3 ,并将信息{A,(50,4 500),(30,1 800)}、{B,(100,9 300),(80,4 960)}、{C,(60,5 400),(100,6 500)}、{D,(50,4 550),(70,4 200)}传递到4个运输公司。

(4)农产品加工企业将上述信息传递给4家运输公司,4家运输公司会结合公司目前的经营状况,力争在经过多轮谈判之后赢得运输任务 t_2, t_3 的执行权。本研究将根据运输公司A的情况,描述4家运输公司之间的谈判过程。运输公司A将可以执行子运输任务 t_2 的潜在合作团队细分成2组:

$$A_j^2 = (\{A,B\}, \{A,C\}, \{A,D\}, \{A,B,C\}, \{A,B,D\}, \{A,B,C,D\});$$

$$A_c^2 = (\{B\}, \{B,C\}, \{B,D\}, \{B,C,D\}, \{C,D\}).$$

运输公司A将可以执行子运输任务 t_3 的潜在合作团队也细分成2组:

$$A_j^3 = (\{A,B\}, \{A,C\}, \{A,D\}, \{A,B,C\}, \{A,B,D\}, \{A,B,C,D\});$$

$$A_c^3 = (\{B,C\}, \{B,D\}, \{B,C,D\}, \{C\}, \{C,D\}).$$

子运输任务 t_2 的分配过程如下:由公式(3)、公式(4)、公式(5)得到 $p_e^{2*} = 9\ 040$, p_e^{2*} 是由运输公司 C 、 D 合作执行任务 t_2 要求农产品加工企业支付的报酬。根据公式(7)可以得到 $A_{ib} = \{A, C\}$ 。因此,运输公司 A 将组成一个团队和运输公司 C 谈判,如果企业 C 同意,企业 A 和 C 共同执行任务 t_2 ,给农产品加工企业发送信息($t_2, \{A, C\}, 9\ 000$),企业 A 与 C 的任务分配方案为 $x_A = 0.5, p_A^2 = 4\ 500, x_C = 0.5, p_C^2 = 4\ 500$ 。

子运输任务 t_3 的分配过程如下:由公式(3)、公式(4)、公式(5)得到 $p_e^{3*} = 6\ 060$, p_e^{3*} 是由运输公司 B 、 D 合作执行任务 t_3 要求农产品加工企业支付的报酬。根据公式(7)可以得到 $A_{ib} = \{A, D\}$ 。因此,运输企业 A 将与运输企业 D 协商形成合作团队,如果企业 D 同意,企业 A 和 D 共同完成任务 t_3 ,向农产品加工企业发送信息($t_3, \{A, D\}, 6\ 000$),企业 A 与 D 的任务分配方案为 $x_A = 0.3, p_A^3 = 1\ 800, x_D = 0.7, p_D^3 = 4\ 200$ 。

(5)农产品加工企业在接到最新的反馈结果时,将会从中选取可以有效执行任务且要求农产品加工企业支付的报酬最少的合作团队。因此,最终执行子运输任务 t_2 的将是企业 A 、 C 合作团队,也就是($t_2, \{A, C\}, 9\ 000$);最终执行子运输任务 t_3 的将是企业 A 、 D 合作团队,也就是($t_3, \{A, D\}, 6\ 000$)。

5 结论

协调农产品冷藏链任务分配的问题,是农产品冷藏链稳定和链上主体企业收益增加的重要保障。在农产品冷藏链中,任务分配的过程是动态且信息不完全的过程,属于分布式运作,所处环境具有不确定性。本研究根据农产品冷藏链任务分配的特点,对任务分配问题做出了形式化描述,建立了农产品冷藏链任务分配模型,提出了相应的协商协议,结合多智能体系统的原理提出了相应的协商算法,并采用实际算例,分析检验了协商算法的有效性,充实了农产品冷藏链任务分配的管理理论,为农产品冷藏链上企业进行任务分配协调提供理论和模型支持,为促进农产品冷藏链上任务分配主体与任务承担主体之间的合作提供了一种有效的方法,有助于促进农产品冷藏链健康发展,降低农产品损耗,提高经济效益。

参考文献:

[1] 孙春华. 我国生鲜农产品冷链物流现状及发展对策分析[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(1): 395-399.
 [2] 张智勇, 刘承, 杨磊. 基于MAS的冷链物流系统协调机制研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(5): 387-389.
 [3] 杨钧. 中国农产品冷链物流发展模式研究[J]. 河南农业大学学报, 2013, 47(2): 222-226.
 [4] Montanari R. Cold chain tracking: a managerial perspective[J]. Trends in Food Science & Technology, 2008, 19(8): 425-431.
 [5] Narrod C, Roy D, Okello J, et al. Public-private partnerships and collective action in high value fruit and vegetable supply chains[J]. Food Policy, 2009, 34(1): 8-15.

[6] Kuo J C, Chen M C. Developing an advanced multi-temperature joint distribution system for the food cold chain[J]. Food Control, 2010, 21(4): 559-566.
 [7] Carullo A, Corbellini S, Parvis M, et al. A wireless sensor network for cold-chain monitoring[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2009, 58(5): 1405-1411.
 [8] Coulomb D. Refrigeration and cold chain serving the global food industry and creating a better future: two key IIR challenges for improved health and environment[J]. Trends in Food Science & Technology, 2008, 19(8): 413-417.
 [9] Lou P, Zhou Z D, Chen Y P, et al. Study on multi-agent-based agile supply chain management[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2004, 23(3/4): 197-203.
 [10] Chan F S, Chan H K. The future trend on system-wide modelling in supply chain studies[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005, 25(7/8): 820-832.
 [11] Kumar M, Vrat P, Shankar R. A fuzzy programming approach for vendor selection problem in a supply chain[J]. International Journal of Production Economics, 2006, 101(2): 273-285.
 [12] Lun T, Chai Y T, Liu Y. A multi-agent approach for task allocation and execution for supply chain management[C]//Networking, Sensing and Control, 2005: 65-70.
 [13] Ji G J, Guo R. Research on the security of cold-chain logistics[J]. Service Systems and Service Management, 2009(6): 757-761.
 [14] Weerd M D, Zhang Y Q, Klos T. Distributed task allocation in social networks[C]//Proceedings of the 6th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagents Systems, 2007: 185-190.
 [15] Jiao J X, You X, Kumar A. An agent-based framework for collaborative negotiation in the global manufacturing supply chain network[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2006, 22(3): 239-255.
 [16] Frayret J M, D'amours S, Rousseau A, et al. Agent-based supply-chain planning in the forest products industry[J]. International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 2007, 19(4): 358-391.
 [17] 司银霞. 生鲜农产品冷链物流联盟运作模式的构建研究[J]. 生产力研究, 2012(7): 43-45.
 [18] 杨芳, 谢如鹤. 生鲜农产品冷链物流系统结构模型的构建[J]. 系统工程, 2012, 30(12): 99-104.
 [19] 刘伟华, 曲思源, 钟石泉. 随机环境下的三级物流服务供应链任务分配[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(2): 381-388.
 [20] 文龙光. 基于委托代理模型的物流供应链任务分配及利益协调机制研究[J]. 经济问题, 2011(4): 62-66.
 [21] 刘江鹏, 朱俊. 基于客户满意的供应链物流联盟任务分配模型[J]. 云南财经大学学报, 2013(3): 125-133.
 [22] 狄卫民, 顾建庄, 胡本勇. 动态联盟供应链生产任务分配的优化方法研究[J]. 统计与决策, 2006(24): 153-155.