

文章编号: 1001- 2486(2007) 03- 0071- 05

基于信息粒化理论的主体间任务分配方法^{*}

修保新, 刘 忠, 张维明, 阳东升

(国防科技大学 信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要:有效的任务分配对于多主体系统通过主体间协作完成其使命任务是非常重要的。基于信息粒化理论提出了一种新的解决方法, 任务分配过程包括两个阶段: 主体和任务粒化阶段和粒内规划阶段。给出了主体和任务粒化阶段的数学表示和基于遗传算法的求解方法。案例分析 和对比试验表明本文的方法具有较好的性能。

关键词: 主体; 任务分配; 信息粒化; 遗传算法

中图分类号: C394 **文献标识码:** A

An Approach to Task Allocating among Group of Agents Based on the Theory of Information Granulation

XIU Bao-xin, LIU Zhong, ZHANG Wei-ming, YANG Dong-sheng

(College of Information System and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: An effective task allocating is important for MAS to complete its mission through efficient cooperation among agents. A new approach is introduced on the basis of the theory of information granulation, which includes two phases: the phase of granulating agents and tasks and the phase of allocating tasks in granular. The mathematical formulation of the first phase is presented, and its solution is proposed based on genetic algorithm. A numerical example shows a better performance of the proposed method.

Key words: agent; task allocating; information granulation; genetic algorithms

任务分配问题的关键是在一定的时限内分配有限的资源, 以获取完成任务流程的最佳效益。任务、资源和效益在不同领域和不同的具体问题上可能呈现不同的表现形式, 如资源可能是平台、人、团队或主体、处理器或信息资源等, 任务可能是作战行动、数据处理或资源查找等, 而效益通常是对时间、价值或低风险的追求等, 一般计划问题大多是多目标优化的决策过程, 其目标的形式就是完成任务效益的不同表现。

典型的分配问题的描述: 给定一个任务图和可获取的资源集合。任务图确定了需要处理的所有任务、任务之间的执行顺序(包括任务的串行、并行以及交叉关系)、信息和数据流向, 同时明确了任务处理的时间需求、资源需求等任务的基本特征。资源具备处理任务的功能, 资源有自身的基本属性(如运行速度、具备的功能能力、信息获取范围、数据或信息处理能力等), 资源和任务之间通过任务的能力需求和资源的功能能力关联, 以此进行资源-任务分配。资源到任务的分配通常以整个任务流程完成的时间最短或者以资源的充分利用为目标。分配过程的约束问题包括同一资源能同时处理的任务数量、任务需求的满足程度以及整个任务流程的时限等等。

有效的任务分配是任务处理策略的关键, 而任务的有效分配需要考虑资源的分配和任务的并行处理, 这是一个 NP 完全问题^[1]。这一问题经常出现在兵力规划、车辆运输调度、指派问题、多处理器并行处理机制和多处理器系统的动态调度^[2-6]上, 对这一问题的解决有许多调度算法的研究, 而对复杂的调度问题大多采用了多维动态列表规划(multidimensional dynamic list scheduling, MDLS)算法^[7]。

另一方面, Zadeh^[8]讨论的信息粒化已经成为计算科学、逻辑、哲学和其他领域的一个非常重要的研究内容, 关于它的研究正成为国内外许多领域的研究热点, 无论从理论上还是应用上都取得了丰富的成

^{*} 收稿日期: 2006- 10- 27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70271004; 60504036)

作者简介: 修保新(1977-), 男, 博士生。

果。人类在解决复杂问题时,通常不是一次性地考虑问题的全部细节,而是先把问题分解或简化,忽略其中的细节,然后从较抽象的层次开始,一层层地深入到其中的细节。

本文的主要目的是将粒度原理引入到任务计划研究领域,通过问题论域的粒化来简化问题的求解,提出基于信息粒化理论的一种主体间任务分配的新方法。这里的论域就是任务集和资源集(主体),粒化就是根据资源和任务的特点,将资源集和任务集分成几类,每一类资源和任务具有某种相似性或功能聚合性,使得一类资源可以有效地用于处理一类任务。这实际上是首先完成一类资源到一类任务的分配,即资源空间粒化结构和任务空间粒化结构的匹配,然后再考虑某一类资源中资源到任务的具体分配,从而简化原问题求解的复杂度。

1 问题描述

任务分配是指:任务规定了处理时间、所需资源以及位置和序列关系等,需要由一组给定的主体来完成,主体规定了功能和速度等^[7]。功能需求和功能能力通过资源类型向量表示。任务通过下面的方式分配给主体组:对每一个这样的分配,任务的功能需求向量要小于或等于分配给它的主体组的聚集的资源能力。某个任务仅当所有前序任务完成后,并且所有分配给它的主体到达指定位置时方可执行。主体每次只能处理一个任务。通过主体对任务的分配使得整个任务序列执行时间最短。

定义 1 主体是物理资源载体,拥有资源能力,执行特定的功能。对每一个主体 A_k ($k = 1, 2, \dots, K$), 定义它的最大速度 v_k 和它的能力向量 $FC_k = (fc_{k1}, fc_{k2}, \dots, fc_{kL})$, 其中 fc_{kl} 规定了主体 A_k 拥有的功能类型 l 的数量 ($l = 1, 2, \dots, L$, L 是功能类型的数目)。

定义 2 任务是一种由一个主体或者一组主体执行的行动,它由相关功能完成。通过三种基本属性定义任务 T_i : 估计的处理时间 t_i ($i = 1, 2, \dots, N$, N 是任务的数目); 地理限制向量 (e. g., 位置 (x_i, y_i) 限定了任务 T_i 和 T_j 的距离 d_{ij}); 资源需求向量 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{iL})$, 这里 r_{il} 表示成功地处理任务 T_i 所需的功能类型 l 的能力。

定义 3 任务图(GT)是描述任务次序和任务间输入输出关系的依赖图表。

2 基于信息粒化理论的任务分配

我们提出的基于信息粒化理论的任务分配 (task allocating based on the theory of information granulation, 以后简称为 TABTIG) 方法降低了问题求解的计算复杂性。分配过程包括两个阶段,分别解决两个不同的优化子问题。

阶段 I (主体和任务粒化阶段): 在这个阶段,分别将主体和任务粒化成 M 组 (M 可由主体数量、任务关联等因素分析决定,对它的分析将另文讨论),通过将主体组分配给任务组定义主体组-任务组分配,满足每一组中任务资源需求。这个阶段的目标是最小化组外协作和组内合作的加权总负载。

阶段 II (粒内规划阶段): 这个阶段决定了任务平台分配,最小化任务完成的总时间。需要考虑任务序列限制,同步延迟,任务资源需求,资源能力和地理位置等约束。由于在第一个阶段已经指定了主体组到任务组的分配,将具有大量主体和任务的规划问题分解为一些独立的子规划问题,它们具有少量的主体和任务。本文采用改进的 MDLS 算法^[9]来求解这些子规划问题,该方法对于小规模规划求解具有良好的性能。

3 阶段 I: 主体和任务粒化

这个阶段决定了主体组-任务组分配。本节首先讨论主体的性能度量,然后给出阶段 I 的数学表示和求解方法。

3.1 性能度量

定义有效的性能度量对于较好地完成任务分配是必要的。本文考虑主体执行使命的两个重要的性能度量:内部工作负载和外部协作负载^[10]。

假设分别将主体和任务粒化成 M 组。任务组分配矩阵 TG , 主体组分配矩阵 AG 和任务-主体分配矩阵 TA , 分别定义如下:

$$TG(i, m) = \begin{cases} 1, & \text{如果任务 } T_i \text{ 分配到组 } m \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

$$AG(k, m) = \begin{cases} 1, & \text{如果主体 } A_k \text{ 分配到组 } m \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

$$TA(i, k) = \begin{cases} 1, & \text{如果主体 } A_k \text{ 分配到任务 } T_i \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

其中, $i = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots, K; m = 1, 2, \dots, M$ 。

组 m 的内部工作负载 $I(m)$ 定义为分配到该组的主体的累积负载, 即分配到该组的主体数量:

$$I(m) = \sum_{k=1}^K AG(k, m) \quad (1)$$

组 m 的外部协作负载 $E(m)$ 定义为该组与其他组的协作量的总和:

$$E(m) = \sum_{n=1, n \neq m}^M D(m, n) \quad (2)$$

其中, $D(m, n)$ 是组 m 和组 n 间需要协作的任务数量:

$$D(m, n) = \sum_{i=1}^N TG(i, m) \cdot TG(i, n) \quad (3)$$

组 m 的总工作负载定义为它的内部工作负载和外部协作负载的加权和^[10]:

$$W(m) = W^I \cdot I(m) + W^E \cdot E(m) \quad (4)$$

其中, W^I 和 W^E 是权重。

为了均衡各组的工作负载, 定义总的性能度量为各组度量的均方根 (RMS):

$$W_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M W^2(m)} \quad (5)$$

该度量同时最小化各组负载的均值和方差^[11]。

3.2 粒化问题的数学表示

阶段 I 的目标是将主体和任务粒化成 M 组, 并最小化各组负载的均方根, 问题可表示如下:

$$\min W_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M W^2(m)}$$

$$\begin{cases} \sum_{m=1}^M TG(i, m) \geq 1, & i = 1, 2, \dots, N \\ \sum_{m=1}^M AG(k, m) = 1, & k = 1, 2, \dots, K \\ \sum_{m=1}^M \left\{ TG(i, m) \cdot \sum_{k=1}^K [AG(k, m) \cdot fc_{kl}] \right\} \geq r_{il}, & i = 1, 2, \dots, N; l = 1, 2, \dots, L \end{cases}$$

其中, 第一个约束条件是指每个任务至少分配给一个主体组完成; 第二个约束条件是指每个主体只能属于一个主体组; 第三个约束条件是任务资源需求约束。

这个问题是一个 NP 完全问题, 我们将采用近似优化方法进行求解。

3.3 求解方法——遗传算法

遗传算法是根据自然选择和遗传进化的机理进行的随机搜索技术。已经有许多研究者将该方法应用到单元形成问题的求解。J. A. Joines 等^[12]将单元设计问题考虑为整数规划并用遗传算法求解,算法通过 17 个数据集的测试,表现了良好的性能;M. Kazerooni 等^[13]采用遗传算法求解机器链相似系数矩阵问题;Gupta^[14]采用遗传算法最小化单元内和单元间的移动;修保新等^[15]采用遗传算法求解组织设计中的粒化问题。所有这些工作表明遗传算法求解聚类问题具有较好的效果。本文仍然采用遗传算法来求解阶段 I 的主体集和任务集的粒化问题。

4 案例分析

本节通过具体案例说明我们的方法,该案例是一个拥有 20 个主体的主体集执行由 11 个任务组成的使命,任务流程如图 1,主体和任务的参数可参见文献[11]。

4.1 基于 TABTIG 的任务分配

将 20 个主体分成 5 组,并假设内部和外部工作负载权重相等, $W^I = W^E = 1$ 。应用我们的 TABTIG 方法设计任务-主体分配。

(1) 阶段 I: 种群数量取 100, 进化代数取 100, 交叉概率取 0.8, 变异概率取 0.05, 应用遗传算法得到主体组-任务组分配如图 2 所示。由式(5)得到性能度量为 4.05。

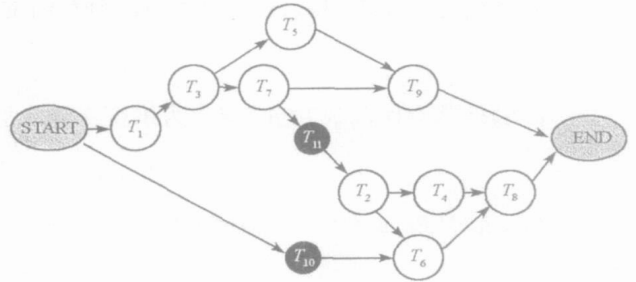


图 1 任务图
Fig. 1 Task graph

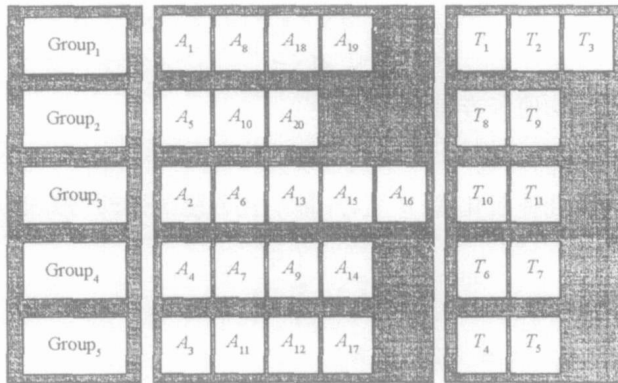


图 2 主体组-任务组的分配
Fig. 2 Agent-group-task-group allocation

遗传算法的收敛结果见图 3, 可以看出, 算法很快地收敛到近似最优解。

(2) 阶段 II: 采用改进的 MDLS 算法^[9]求解 5 个子规划问题, 从而获得主体-任务的具体分配, 结果见图 4。整个使命的完成时间为 98.9 时间单位。

4.2 TABTIG 和 MDLS 的比较

这里比较我们的 TABTIG 方法和文献[7]中给出的 MDLS 方法。应用 MDLS 方法同样可以获得任务-主体分配, 整个使命的完成时间是 181.6 时间单位^[11]。可以看出, 我们的方法缩短了大约 82 时间单位, 超过了 MDLS 方法。另外, TABTIG 方法和 MDLS 方法在算法复杂度上的差异主要在于前者首先需要采用遗传算法, 而从图 3 可以看出, 算法可以很快地收敛, 因此 TABTIG 方法是一个实用的方法。

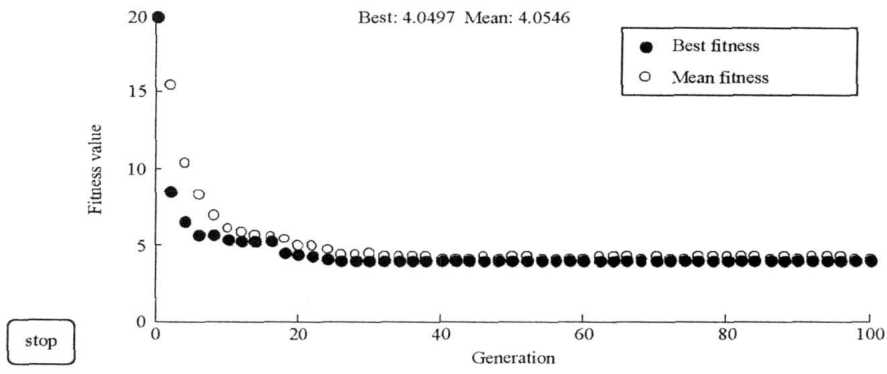


图3 种群适应度值的进化

Fig. 3 Evolution of fitness function with generations

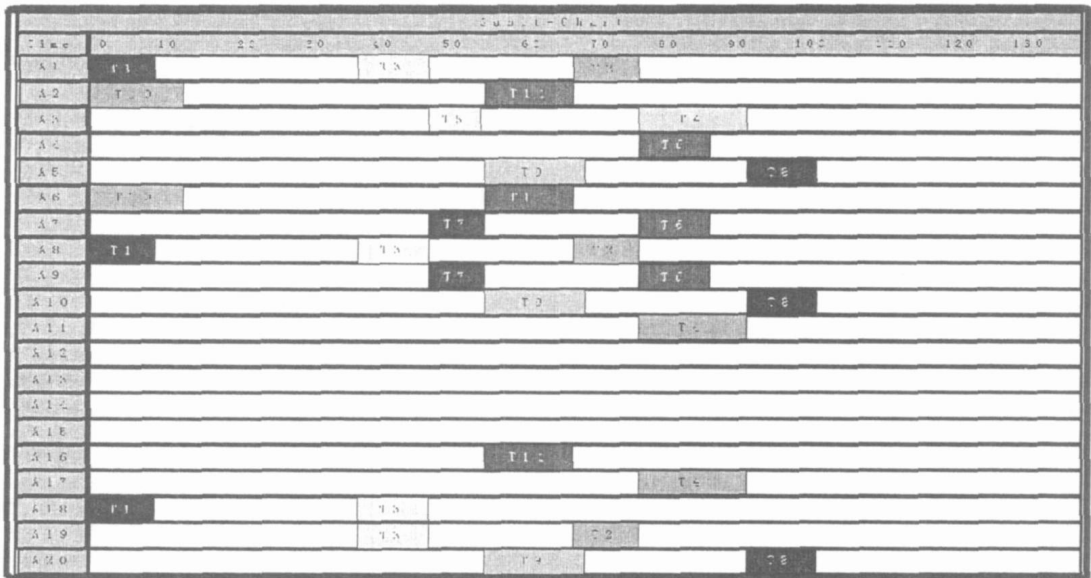


图4 任务执行的甘特图

Fig. 4 Gantt chart

5 结论

本文提出了基于信息粒化理论的一种新的任务分配方法, 提出了该方法的两个阶段: 主体和任务粒化阶段和粒内规划阶段。通过案例说明了该方法的良好性能。在以后的研究中, 我们将进一步研究粒化方法, 讨论粒化分组数的确定, 同时, 如何扩展该方法使它具有灵活性和鲁棒性也是一个重要的研究方向。

(下转第 102 页)

表3 假设检验结果

Tab. 3 The result of hypothesis test		
检验	χ^2 方值	P 值
似然比	8.4866	0.0037
记分检验	8.4649	0.0073
沃尔德检验	8.1428	0.0043

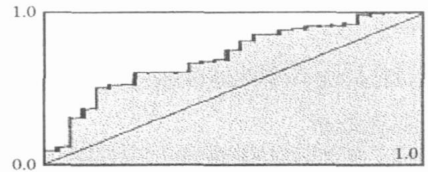


图3 回归分析的ROC曲线

Fig. 3 The ROC curve of regression

4 结论

时间应力是机电系统产生故障的主要原因,本文提出的时间应力与机电系统故障的关联分析技术能有效地分析出影响机电系统性能的主要应力因素,并决定各种应力对故障的影响程度,从而为机电系统的故障监控与诊断及故障预测提供信息基础。

参考文献:

- [1] 温熙森,徐永成,等. 智能机内测试理论与应用[M]. 北京:国防工业出版社, 2002:146-149.
- [2] 张宝珍. 时间应力测量装置技术(一种有发展前途的军民两用技术)[C]//2001年中国航空学会可靠性工程学术年会论文集,北京:中国航空学会, 2001:145-149.
- [3] Havy G, Louis S, Bruska S. Micro-time Stress Measurement Device Development[R]. Rome Laboratory Air Force Materiel Command Griffiss Air Force Base, New York, 1995.
- [4] Nakanichi R, Imoto S, Miyano S. Case control Study of Binary Disease Trait Considering Interactions between SNPs and Environmental Effects using Logistic Regression[J]. Proceedings of the Fourth IEEE Symposium on Bioinformatics and Bioengineering, 2004.
- [5] 洪楠,侯军. SAS统计分析系统教程新编[M]. 北京:清华大学出版社, 2004:295-316.
- [6] Skomin V A, Popyack L J. Reliability of Flight Critical System Components and Their "History of Abuse" [C]//Aerospace and Electronics Conference, 1995, 1: 376-381.
- [7] 何秀丽,刘次华. Logistic回归中的加权最小二乘估计[J]. 应用数学, 2004, 17(增):144-147.

(上接第75页)

参考文献:

- [1] Philippe C. Task Scheduling over Distributed Memory Machines [M]. Parallel and Distributed Algorithms, North Holland, 1988: 165-176.
- [2] Muthucumar M, Howard J S. A Dynamic Matching and Scheduling Algorithm for Heterogeneous Computing Systems [C]//HCW'98, Orlando, USA, March 1998: 57-69.
- [3] Hyunok O, Soonhoi H. A Static Scheduling Heuristic for Heterogeneous Processors [C]//Proceedings of Europar'96, Volume 1124 of Lecture Notes in Computer Science, Lyon, France, August 1996: 573-577.
- [4] Volker S. Gaussian Elimination Is Not Optimal [J]. Numerische Mathematik, 1969, 14(3): 354-356.
- [5] Gilbert S, et al. A Compile-time Scheduling Heuristic for Interconnection Constrained Heterogeneous Processor Architectures [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A, 1993, 4(2): 175-187.
- [6] Shirazi B, et al. Analysis and Evaluation of Heuristic Methods for Static Task Scheduling [J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 1990, 10: 222-232.
- [7] Levchuk G M, et al. Normative Design of Organizations—Part I: Mission Planning [J]. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics—Part A, 2002, 32(3): 346-359.
- [8] Zadeh L A. Towards a Theory of Fuzzy Information Granulation and Its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1997(19): 111-127.
- [9] Yang D S, Zhang W M, Liu Z. Task Allocating Among Group of Agents [C]//WI 2004, IEEE Press, Beijing, September, 2004: 574-579.
- [10] Levchuk G M, Levchuk Y N, Luo J, et al. Normative Design of Organizations—Part II: Organizational Structure [J]. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics—Part A, 2002, 32(3): 360-375.
- [11] Levchuk, G M, Levchuk Y N, et al. Normative Design of Project-based Organizations—Part III: Modeling Congruent, Robust, and Adaptive Organizations [J]. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics—Part A, 2004, 34(3): 337-350.
- [12] Joines J A, Culbreth C T, King R E. Manufacturing Cell Design: An Integer Programming Model Employing Genetic [J]. IIE Transactions, 1996, 28(1): 69-85.
- [13] Kazerooni M, Luong L, Abhary K. Cell Formation Using Genetic Algorithms [J]. International Journal of Flexible Automation and Integrated Manufacturing, 1995, 3: 283-299.
- [14] Gupta Y P, Kumar M C, Sundaram A. Minimizing Total Inter-cell and Intra-cell Moves in Cellular Manufacturing: A Genetic Algorithm Approach [J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 1995, 8(2): 92-101.
- [15] Xiu B X, Zhang W M, et al. A Novel Organizational Design Methodology Based on the Theory of Information Granulation [C]//The Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Guangzhou, August, 2005: 1-6.