

机载公共设备综合管理系统任务分配算法研究

马保海 裘丽华

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100083)

摘 要: 机载公共设备的综合管理是机载系统发展的必然方向,为解决机载公共设备综合管理系统中任务分配问题,进行了任务划分.根据周期任务和非周期任务对系统风险系数的贡献不同,提出了两层任务分配策略;以单机风险系数均衡为目标函数,设计了基于蚁群算法的周期任务分配算法.对蚁群算法进行了模糊自适应参数调整的改进,仿真结果表明改进算法能够有效地使蚁群算法从局部最优点中逃脱,解决任务分配问题.

关 键 词: 机载计算机; 分配问题; 调度算法; 公共设备综合管理系统; 蚁群算法

中图分类号: V 247.2; TP 302.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-5965(2004)09-0893-04

Research of task assignment in aircraft utility management system

Ma Baohai Qiu Lihua

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: The airborne utility management system is the inevitable developing trend of airborne system. The tasks of the airborne utility management system were partitioned for solving the task assignment problem. The two-level tasks allocation strategy of cycle tasks and un-cycle tasks was put forward because their contributions are difference for the risk coefficient of system. Taking the balance of risk coefficient among the computers as the goal function, the cycle task allocation arithmetic based on the ant colony optimization arithmetic was designed. The ant colony arithmetic was improved by fuzzy-adaptive parameter regulation. The simulative results show that the improved arithmetic can efficiently make it escaped from the local extremum and resolve the UMS task assignment problem of utility management system.

Key words: airborne computers; assignment problems; scheduling algorithm; utility management system (UMS); ant colony optimization (ACO)

1 问题描述

由四台综合处理机(SMP)对多个机电子系统进行分布式管理的机载公共设备综合管理系统(UMS, Utility Management System)是下一代战斗机的必然发展方向,图1所示为全透明的UMS体系结构^[1].如何把子系统控制和管理的任务合理的分配到四台SMP中,以保持飞机UMS性能最佳,

是一个关键的问题,这就是所谓的任务分配问题^[2].

任务分配问题由分配域、目标域、分配算子、目标函数四个要素组成.

分配域 $T\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$:指被分配对象的矢量集合;

目标域 M :由 $\langle M_{SMP}, J \rangle$ 刻画, M_{SMP} 表示各处理机节点的集合; J 是指通过航空总线连接的综合处理机的分布式拓扑结构;

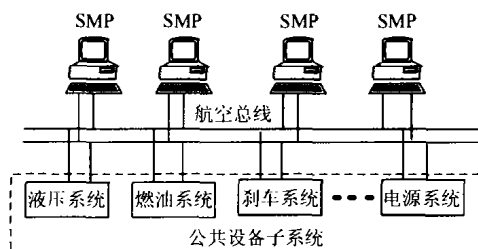


图1 UMS 拓扑结构

分配算子 Ψ : 所谓的任务分配算子是从分配域到目标域的映射;

目标函数 R : 所谓的目标函数是指任务分配结果要达到的目标。

对于 UMS 来讲, 任务分配问题可以表示为: 按照分配算子 Ψ , 把分配域 $T\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ 的所有元素划分为四个子集合, 在满足目标函数 R 的条件下, 分别分配到目标域中的四台处理机中执行。

任务分配是一个组合优化问题。目前的方法主要是启发式的进化算法或几种进化算法的综合, 其共同点是单个种群的进化或多种群无协作的进化^[3]。而基于蚁群算法有效地利用了种群之间地协作, 能够取得较好的效果^[4]。

2 任务分析与任务分配目标函数

2.1 UMS 任务分析与划分

分配域包括两个方面: ①所控制的多个子系统的控制、检测功能、各子系统的参数多功能显示; ②针对四台 SMP 的相互检测和总线管理等任务。

根据公共设备的特点, 可知 UMS 中任务具有余度、周期与非周期任务与风险性等特点, 风险性是指子系统功能失效对飞行的生存力的影响, 风险系数用 G_i 表示。

根据上述任务的特点, 可以对任务进行划分, 划分的原则为:

- 1) 任务分为周期和非周期任务两类;
- 2) 同一功能的任务的不同余度的子系统划分为不同的任务, 即具有 3 余度的刹车控制系统划分为 3 个相互独立的任务;
- 3) 同一子系统的控制任务或检测任务划为一个子任务以尽量减少任务之间的数据交联, 这样把 UMS 所有的任务划分为若干子任务。

2.2 UMS 任务分配的目标函数

从提高公共设备的可靠性与生存力出发, 选

择 UMS 任务分配的目标为使每一个处理机的失效对整机的影响最小, 即当一个处理机失效时, 其上的任务要转移(动态的分配)到其它的节点处理机中以保证公共设备的正常功能, 在考虑转移过程的风险的情况下, 如何使分配失效的风险降至最低。因此本文引入单机风险系数的概念^[5]。

单机风险系数: 在 UMS 中单节点 M_{SMPi} 承担的任务集合为 $T(t_1, \dots, t_m)$, 节点 M_{SMPi} 的风险系数为

$$R_{SMPi} = a \cdot n + \sum_{i=1}^n (b \cdot G_i + c \cdot L_i + d \cdot S) \quad (1)$$

其中, n 为节点 M_{SMPi} 承担的任务数; G_i 为单个任务 t_i 的风险系数; L_i 为处理机的能力(因为系统为同构系统, 因此将不再考虑这一因素); S 为飞行状态; a, b, c, d 为各因素的加权系数。

因为对于 UMS 来讲, 任务的总数和飞行状态以及处理机的能力都是固定的, 系统总的任务风险系数基本不变, 因此各处理机的风险系数均衡时, 单机的风险系数最小, 即单机失效时对整个飞行的影响最小。若把多台处理机的风险系数看作一个随机变量, 则可选随机变量的方差最小作为任务分配的目标函数, 即

$$r = \min \sum_{i=1}^N \left(\left| R_{SMPi} - \frac{\sum_{i=1}^N R_{SMPi}}{N} \right|^2 \right) \quad (2)$$

其中, N 为总的处理机节点数目。

3 UMS 的任务分配策略

对于周期任务来讲, 每个任务对 UMS 的风险是一直存在的, 因此可以认为周期任务对 SMP 的风险系数的贡献是静态不变的; 而对于非周期的任务, 由于每个任务仅仅执行一次或几次, 因此其对 SMP 的风险系数的贡献是瞬时的。因此, UMS 任务分配, 可以分为两个层次, 首先是对 UMS 任务集中的周期任务进行任务的分配, 然后对非周期的任务集进行分配。这样就构成了 UMS 的两层任务分配策略: 第一层周期任务的分配; 第二层非周期任务的分配。UMS 整体任务分配策略如图 2 所示。在 UMS 中非周期任务数量较少, 采用通用的启发式方法即可, 本文不再讨论, 仅仅讨论对于周期任务的分配问题。

3.1 基于蚁群算法的周期任务的设计

1992 年 Marco Dorigo 根据自然界蚂蚁觅食的

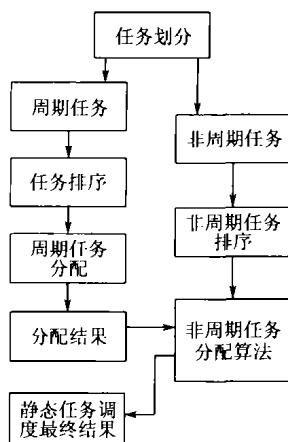


图2 UMS 两层任务分配策略

行为,提出了蚁群算法(ACO, Ant Colony Optimization),在旅行商问题、负载平衡、车辆调度、可靠性分配等优化领域中取得了较好的效果。

在算法的设计之前,首先引入符号:

N ——处理机节点的数量

$\tau_{i,j}$ ——任务 t_i 对节点 M_{SMPj} 之间的信息素

$r_{i,j}$ ——节点处理机 i, j 之间的目标函数之差

差

M ——蚂蚁的数量

$\eta_{i,j}$ ——蚂蚁在节点 i 与 j 之间的可见度

ρ ——信息素的蒸发系数

α ——信息素在蚂蚁搜索中的权重, $\alpha \geq 0$

β ——局部搜寻在蚂蚁搜索中的权重, $\beta \geq 0$

$p_{i,j}$ ——节点 M_{SMPi} 向节点 M_{SMPj} 转移的概率

L ——循环寻优的步数

Q ——正常数

1) 路径的设计

定义 任务矢量: $T(t_1, t_2, t_3, \dots, t_m)$ 是具有一定顺序的子任务矢量,其顺序是任务的开始执行时间早的任务排在前面;相同开始时间的任务按照单个任务的风险性 G_i 的大小排列,风险性 G_i 大的任务排在前面;冗余任务相互之间没有顺序的约束。这样,我们就把要分配的任务排成了一个具有一定顺序的矢量,寻优的路径为每只蚂蚁按照任务矢量的顺序移动。

2) 蚂蚁的设计

在 ACO 中,每只蚂蚁的一次完全的路径循环相当于问题一个解,我们设定蚂蚁的一个循环为:按照任务矢量的顺序,每只蚂蚁根据不同的转移概率,把任务依次分给不同的处理机 SMP。

3) 转移概率的设计

在 ACO 中转移概率是关键,蚂蚁把一个任务

t 从当前的处理机转移到另外一个处理机的概率为

$$P_{(i,j)}(m) = \frac{\tau_{(i,j)}^{\alpha} \cdot \eta_{(i,j)}(m)^{\beta}}{\sum_{j=1}^N \tau_{(i,j)}^{\alpha} \cdot \eta_{(i,j)}(m)^{\beta}} \quad (3)$$

其中 $m \in [1, M]$, 为蚂蚁的序号。

$\eta_{i,j}(m)$ 为任务 t_i 从当前的处理机到处理机 M_{SMPj} 的启发值

$$\eta_{(i,j)}(m) = \begin{cases} R_{SMPi} - R_{SMPj} & R_{SMPi} > R_{SMPj} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

当二者之间的目标函数差越大, $\eta_{i,j}(m)$ 越大,对蚂蚁移动目标的指示作用越大。

由此,可以得到基于 ACO 的任务分配算法的基本步骤:每个蚂蚁首先随机分布在各处理机上,按照任务矢量的顺序依次把每个任务迁移至处理机节点。每个蚂蚁的迁移过程构成系统的一个解,从所有的蚂蚁中选择目标函数最优蚂蚁,根据最优蚂蚁的迁移过程更新任务与节点之间的信息素,然后重新开始任务的迁移,直到目标函数收敛为止,算法框架如图 3 所示。

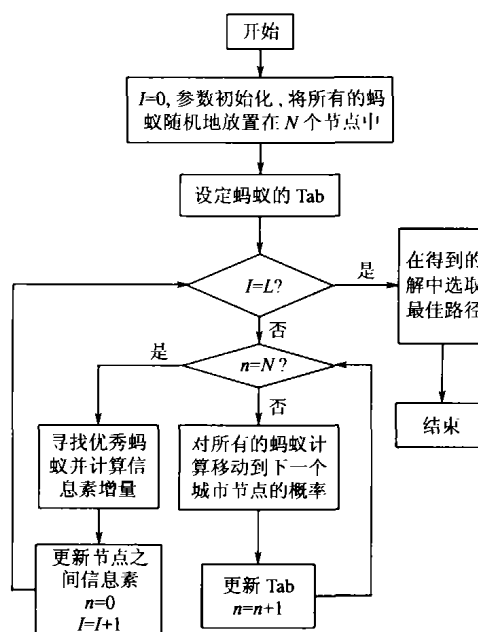


图3 基于 ACO 的周期任务分配算法框图

3.2 基于模糊参数调整的 ACO 算法

对于 ACO 算法,并没有一个成熟的参数选取法则。文献[6]通过仿真和参数回归分析,认为对系统影响最大的参数为 $R_{i,j}$ 、 β 、 α 。

$R_{i,j}$ 是由算法本身决定的,无法调整。 β 、 α 反映在算法中即是转移概率的计算问题,因此,本文从转移概率入手进行改进。

从式(3)中看出,转移概率由信息素 $\tau_{i,j}$ 与启

发式信息 $\eta_{i,j}$ 决定, 二者的权重由 α 与 β 调整. $\tau_{i,j}$ 是种群之间的信息素的正反馈作用, 其作用是加快结果收敛; $\eta_{i,j}$ 的作用是一种启发式局部搜寻信息. α 与 β 值的相对大小标志了协作正反馈与启发式局部搜寻的权重. 因此如何调整 α 与 β 值的大小是一个关键的问题, 如果选择不当会造成早熟现象或不收敛.

设 $\alpha = k \cdot \alpha_0$, $\beta = (1 - k) \cdot \beta_0$. 其中, α_0 为信息素权重的最大值; β_0 为启发式局部搜寻权重的最大值; $k \in [0, 1]$ 为调节系数. k 的大小表示信息素和启发式局部搜寻规则两者在选择概率中的作用的大小.

为此, 引入模糊语言输入变量: 迭代次数、目标函数变化率以及输出变量——调节系数 k .

迭代定义为目前迭代寻优次数 l 与总的寻优次数 L 之比, 迭代的论域为 $[0, 1]$; 目标函数变化率定义为当前目标函数值在一定的邻域内保持稳定的迭代次数与总的迭代次数的比, 表示了目标函数的收敛程度, 其论域为 $[0, 1]$; 调节系数 k , 其论域为 $[0, 1]$. 各变量的模糊子集合与相应的模糊推理规则如表 1 所示. 通过选择模糊变量合适的隶属函数, 可以在算法中实时调整 k , 达到 ACO 算法的模糊自适应参数调整.

表 1 模糊推理规则

目标函数变化率	迭 代 次 数		
	早	中	晚
调节系数			
小	中	大	大
中	小	中	大
大	小	小	中

4 仿真试验

选定 50 个子任务^[5]进行仿真试验. 在没有模糊自适应参数调整情况下的目标函数的变化曲线如图 4 所示.

图 5 为在模糊自适应参数调整后目标函数的

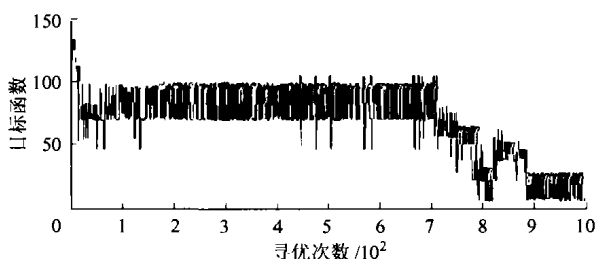


图 4 基于 ACO 算法的 UMS 任务分配

变化曲线. 可以看出, 应用模糊动态调整改进的 ACO 算法能够有效地从局部最优点逃脱, 其寻优过程明显好于没有模糊调整前的仿真结果.

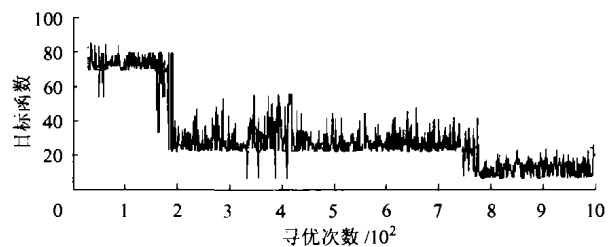


图 5 模糊自适应参数调整 ACO 算法 UMS 任务分配

5 结 束 语

本文对 UMS 的任务进行了分析和划分, 并针对 UMS 的特点, 把任务划分为周期任务和非周期任务的两层, 根据这两层任务对系统节点风险系数的贡献不同, 采用两层任务分配策略, 并设计了基于风险系数均衡的任务分配目标函数. 采用基于模糊自适应参数调整方法对 ACO 算法进行了改进, 仿真结果证明这种方法能够有效地使 ACO 逃脱局部最优点, 解决了 UMS 任务分配问题.

参考文献 (References)

- [1] Moir I, Seabridge A G. Management of utility system in the experimental aircraft programmer[J]. Aerospace, 1996, 9: 28 ~ 35
- [2] 陈显锋. 机载机电系统综合控制管理实时仿真平台系统研究[D]. 北京: 北京航空航天大学自动控制系统, 1999
Chen Xianfeng. Research on the real time simulation platform of aircraft multi-electromechanical integrated management systems [D]. Beijing: Dept. of Automatic Control, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1999 (in Chinese)
- [3] 钟求喜, 谢 涛, 陈火旺. 任务分配与调度的共同进化方法[J]. 计算机学报, 2001, 24(3): 308 ~ 314
Zhong Qiuxi, Xie Tao, Chen Huowang. Task allocation scheduling by computational model of coevolution[J]. Chinese Journal of Computers, 2001, 24(3): 308 ~ 314 (in Chinese)
- [4] Marco D. The ant system: optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 1996, 26(1): 1 ~ 13
- [5] 李 杨. 飞机机载机电设备综合控制管理系统仿真平台研究[D]. 北京: 北京航空航天大学自动控制系统, 1998
Li Yang. Research on the simulation platform of aircraft utilities management and control system [D]. Beijing: Dept. of Automatic Control, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1998 (in Chinese)
- [6] Ricardo M, Ramalho G L. Ant system for the set covering problem [A]. Proceeding of IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics [C], 2001. 3129 ~ 3133