机载机电设备综合控制管理系统任务分配研究[1)]

李 杨 王占林 裘丽华
(北京航空航天大学 自动控制系)

摘 要 利用分布式处理机及网络技术对机载机电设备进行综合控制管理是机载机电设备发展的一大趋势,其中如何分配机载机电系统的控制管理任务,使系统风险均衡,达到提高系统可靠性、安全性的目的是综合控管课题的关键技术之一,其实质上是一个优化组合问题.本文针对该问题,提出了适用于机载机电设备综合控管系统的任务分配准则和目标函数,利用遗传算法,寻求任务分配的最优策略,达到了较好的效果.

关键词 多处理机系统; 启发式算法; 分配问题; 组合最优化
分类号 TB 114.1

随着计算机网络技术和微处理器技术的日趋成熟,采用多台分布式计算机系统和网络总线替代飞机多个机电子系统的外场可更换(LRU)单元,对子系统进行统一控制管理,进而构成机载机电设备综合控制管理系统成为机载机电设备发展的一大趋势.通过网络总线,处理机节点间任务可以动态调度,使多台处理机的部分或全部功能互为余度,从而达到提高整机的性能,提高可靠性和可维护性,有效降低驾驶员负担的目的.各子系统的控制管理工作按采样时间不同而划分为多个任务分布在多台处理机节点上处理,每一种任务分配方案都是调度的目标和结果,如何确定一种分配方案以及按什么准则确定分配方案,使其满足任务处理要求和调度的需要是本文要解决的主要问题.

1 任务分配问题描述与准则

考虑 n 个任务在 m 台处理机节点上运行,节点 $E_i(1\leqslant E_i\leqslant m)$ 上运行 $n_i(0\leqslant n_i\leqslant n)$ 个任务,一个节点在一个时刻只能处理一个任务,优先级低的任务可被优先级高的任务所中断,当该节点故障时,为了尽可能保证机电系统能够继续运行,必须将 n_i 个任务向其余 $m-1$ 个处理机节点转移;当 n_i 个任务全部被其余节点接受时,则可保证机电系统继续正常运行,否则将丧失部分系统功能,其过程是一任务再分配过程,n_i 个任务能否被接受与其余 $m-1$ 个节点的剩余处理能力等有关.因此将多个任务分配给多个节点处理,从节点可能故障,系统部分功能可能丧失的悲观角度考虑,任何分配方案都要承担一定风险,那么优化的分配方案应使风险系数降至最低.

下面首先根据机载机电系统的特点定义风险系数的概念.

1.1 单处理机风险系数

单处理机的风险系数是从单机角度出发,考虑节点 E_i 执行所分配的 n_i 个任务,当 E_i 节点故障,n_i 个任务不能完成时,对飞行安全的威胁程度或飞行任务不能完成程度的度量,记为 A_s.根据机载机电系统的特点,单机风险系数与如下因素有关,即:

1) 与所执行的任务等级 G_i 有关,称为任务等级风险系数.任务等级本身即反映了该任务的完成情况对飞行安全的影响,任务等级越高,风险系数越大,$A_{sj}\propto G_i$;根据实际情况,把任务等级划分为3个级别,等级为一的任务是指一旦执行故障,即对飞行安全构成直接威胁的任务;等级为二的任务定义为该任务执行故障将影响系统的部分功能和性能,但不会直接影响飞行安全的任务;三级任务定义为不影响飞行安全的起辅助功能的任务.

2) 与该节点所分配的任务数 n_j 有关.所分

收稿日期: 1998-05-18 第一作者 男 29岁 博士生 100083 北京
1) 国家部委基金资助项目

配的任务数越多, 则该节点失效对系统影响也越大, 需要重新分配任务(调度) 的负担也相应的比较大, $A_{sj} \propto n_j$, 与该项有关的系数称为任务数量风险系数.

3) 与该节点任务负载 L_i 有关. 工作负载反映了任务的处理要求对处理机处理能力的占用程度, 可以采用绝对指标和相对指标表示. 绝对指标用实际任务迭代速率和该节点最大迭代速率之比表示, 即 $L_i = f_i/f_{max}$; 相对指标用任务处理时间的某一倍数与该任务周期之比表示, 即 $L_i = \alpha C_i/P_i$, 其中 α 是一系数, 考虑香农定理, $\alpha_{min} = 2$. 任务负载大的节点故障, 其任务被重新分配至其它节点时, 要求这些节点有与工作负载相应的剩余处理能力, 才能保证这些节点既能完成原有的任务, 又能接受新分配的任务, 否则新任务被拒绝接受. 显然工作负载越大的节点失效后, 其任务被其它节点接受的概率越小, 该节点的风险系数相应较高, $A_{sj} \propto L_i$, 与该项有关的风险系数称为负载风险系数.

4) 与飞行状态 S_F 有关(称该项为飞行状态风险系数) . 多处理机系统工作于整个飞行过程, 在滑跑、爬升等不同的飞行状态, 各个子系统的工作情况亦不相同, 处理机节点故障对机电系统影响亦不相同. 为了反映机电系统的这一特性, 将飞行状态 S_F 分为空中状态和地面状态, 每个状态又分为两级. 一级任务为与当前的飞行状态没有直接联系的任务, 如巡航飞行时防滑刹车系统的任务; 二级任务为与当前的飞行状态有直接关系的任务.

综合以上 4 项, 单节点总的风险系数可表示为加权和的形式, 即

$$A_{sj} = \beta n_j + \sum_{i=1}^{n_j} (\alpha G_i + \gamma L_i + \eta S_F)$$

其中 A_{sj} 是 j 节点处理机风险系数, $1 \leqslant j \leqslant m$, $0 \leqslant \sum n_j \leqslant n$; $G_i, L_i, S_F \in [0, 1]$; α, β, γ, η 为加权系数.

1.2 多处理机系统风险系数

除了单节点风险系数外, 从多个任务在多处理机节点间分配执行的全局角度出发, 定义一个能够反映多节点故障对机电系统正常运行构成威胁的综合指标 ——多处理机风险系数(整个系统的风险系数) . 从综合控管系统需求出发, 采用使各节点平摊总风险系数的策略来定义多处理机风险系数, 即尽可能使各节点风险系数相近, 任一节点的风险系数若进一步减小, 则势必造成其它节点风险系数增加. 这样实际上各节点的风险系数也已经减小到不能再减小的程度. 多处理机的风险系数记为

$$A_{all} = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^{m} a_{ij} \left| A_{si} - A_{sj} \right|$$

即各节点风险系数绝对差值的加权和; 或采用的 $A_{all} = \max(A_1, A_2, \cdots, A_{sm}) - \min(A_1, A_2, \cdots, A_{sm})$ 形式, 即最大风险系数与最小风险系数差. 显然最优分配方案应使风险系数最小.

1.3 约束条件

考虑周期性任务集合

$$T_{set} = \{T_i(A_i, m_{qi}, C_i, P_i, G_i),\ i = 1, 2, \cdots, n_1\}$$

其中 A_i 为任务到达时刻; m_{qi} 是任务 i 对存储器的要求; C_i 是任务 i 在处理机上的处理时间; P_i 为任务周期; G_i 是任务等级. 由于任务周期 P_i 不同, 任务排序也存在周期性, 若 $A_i = A_j$ ($i \neq j$, $i, j = 1, 2, \cdots, n_l$) , 则排序周期为所有任务周期 P_i 的最小公倍数 P_{mp}; 若 $A_i \neq A_j$, 则任务排序周期为 $\max\{P_i,\ i = 1, 2, \cdots, n_l\} + P_{mp}$. 用 W_p 表示排序周期, 在时间窗口 W_p 中要保证所有周期性任务能够按时完成, 则必须满足必要条件[1]: $\sum_{i=1}^{n_l} C_i \leqslant W_p$, 且 $m_{qi} \leqslant m_l$ ($i = 1, 2, \cdots, n_l$) .

1.4 任务分配准则

对于给定任务集合 T_{set} 和 m 台处理机的情况, 寻求一种任务分配方案, 使满足

$$\sum_{i=1}^{n_l} C_i \leqslant W_p$$

$$m_{qi} \leqslant m_l \qquad i = 1, 2, \cdots, n_l$$

$$A_{all} = \max(A_1, A_2, \cdots, A_{sm}) - \min(A_1, A_2, \cdots, A_{sm})$$

和目标函数: $\min A_{all}$.

可见机载机电设备综合控管的任务分配问题实质上是寻求一种 n 个任务在 m 个处理机上的分配方案, 使目标函数 A_{all} 最小, 同时满足约束条件的组合优化问题.

2 任务分配问题的遗传算法设计

一般来说, 组合优化问题是一个 NP 完全问题[2], 由于遗传算法(GA) 仅需要知道目标函数的信息, 而不需要其连续可微等要求, 因而具有广泛的适应性, 同时遗传算法又是一种采用启发性知

识的智能搜索算法, 所以往往能在搜索空间高度复杂的问题上取得较好的效果, 尤其是对组合优化问题[3].

2.1 任务分配问题染色体表示

遗传算法的编码(或问题)表示, 其实质是在满足完备性、健全性和非冗余性[4]要求的条件下, 由问题空间向遗传算法空间的映射. 通常的染色体编码方法分为二进制编码和自然编码方法 2 种. 本文采用基因座与任务集合元素一一对应, 基因与处理机集合元素一一对应的自然编码方法. 如对于 10 个任务 4 台处理机的一个任务分配的染色体表示为 4443112312, 其意义为任务 1、2、3 分布在处理机 4 上, 任务 4、8 分布在处理机 3 上等等.

2.2 适应度函数

任务分配问题的目标函数以极小值的形式给出, 遗传算法的适应度函数则是以极大值形式给出的, 且要求适应度不小于零, 由目标函数到适应度函数必须作变换. 任务分配问题的适应度函数取为

$$F = A_{sjmax} - A_{all} - g(T)$$

其中 A_{sjmax} 是整机风险系数的最大值, 在对 G_i, L_i 和 S_F 进行归一化后,

$$A_{sjmax} = (\alpha + \beta + \gamma + \eta)\, n$$

$g(T)$ 是考虑约束条件而加的惩罚函数, 定义如下:

$$g(T) = \begin{cases} 0 & \sum_{j=1}^{n_i} C_j \leqslant W_p \\ \Delta_{max}\left(\sum_{j=1}^{n_i} C_j - W_p \right) & \sum_{j=1}^{n_i} C_j > W_p \end{cases}$$

其中 Δ_{max} 是加权系数.

此处仅考虑处理机能力的约束, 而认为一般情况下对处理器内存的要求始终能够满足.

2.3 其它算法参数选取

算法其它参数涉及选择算子、交叉算子、变异算子和群体初始规模等, 这些参数直接影响算法的收敛性和群体多样性[4]. 本文采用适应度比例法进行选择操作, 二点交叉概率取为 $p_c < 0.8$, 变异概率 $p_m < 0.002$, 初始群体的生成规则是: 先随机生成一定数目的个体, 然后从中挑出最好的个体加到初始群体中, 对于 10 个子任务, 群体规模保持在 $N = 40$.

3 仿真实验结果与分析

针对表 1 所示的 10 个典型任务, 进行仿真实验, 其中任务最长采样时间为 3 min, 最短采样时间是 1 ms. 图 1 给出了算法性能曲线, 由于问题规模较小, 因此收敛较快, 由初始适应度 0.69 到 0.9 大约进化 200 代.

表 **1**　**10** 个典型任务列表

任务编号	处理时间/s	采样周期/s	重要度等级	空中状态	地面状态
1	0.01	0.001	3	2	1
2	0.01	120	1	1	1
3	0.02	500	3	2	1
4	0.005	300	3	2	1
5	0.009	0.001	2	1	2
6	0.005	0.001	1	2	2
7	0.005	0.010	2	1	1
8	0.004	0.012	3	1	1
9	0.009	0.015	1	1	1
10	0.005	0.020	1	1	1

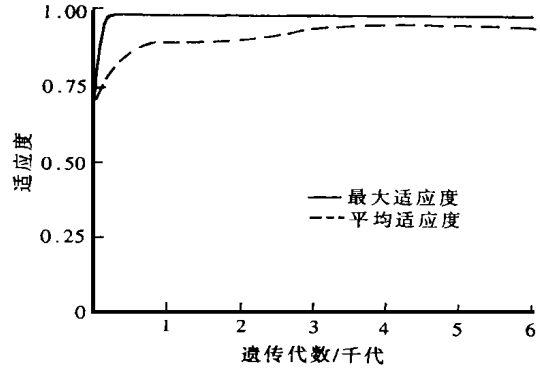


图 1　算法性能曲线图

表 2 给出了综合考虑 L_i, G_i, n_j 和 S_F 的分配结果, 加权系数 α, β, γ, η 取为 1, 整机风险系数最大为 0.8733, 最大适应度 0.9782, 表 2 的 4、5 列给出了该种分配方案的情况下任务等级风险系数、负载风险系数的比较. 可见风险系数平衡时, 负载和任务等级并不一定是平衡的, 分配结果体现了上述 4 种系数在各节点间的均衡.

表 **2**　综合考虑 G_i, L_i, S_F, n_i 的任务分配结果

节点	分配的任务	A_{sj}	$A_{sj}(G_i)$	$A_{sj}(L_i)$
1	5, 7, 10	6.99	1.65	1.84
2	2, 8, 9	6.8766	1.66	0.716
3	1, 4	6.1167	2	0.1167
4	3, 6	6.23	1.33	0.9

4 结　论

机载机电设备综合控制管理系统的中央处理

机是分布式多处理机系统,任务分配是保证多处理机系统可靠地运行,进而保证机电系统安全可靠运行的关键技术.鉴于机电系统的特点,综合控管系统的任务分配准则应综合考虑任务等级、任务数量、负载均衡和飞行状态要求,体现风险系数均摊的思想,不能仅以负载均衡或任务等级均衡等单项指标为分配准则.考虑上述准则的任务分配问题是一组合优化问题,在本文的算例中采用了10个典型机电任务,利用遗传算法寻优获得了较满意的离线性能和结果.在实际应用中,对40个任务在4台处理机上分配问题,利用上述分配准则和适应度定义方法,算法是收敛的,遗传代数约15 000代即可获得满意的风险系数均衡实验结果.

参 考 文 献

1 Chetto M, Chetto H, El-Younsi N. On designing a real time system exempt of any timing failure. In: IFAC Distributed Computer Control System. Vitznau: Switzerland, 1988. 75~79

2 丁承民,张传生,刘 辉.遗传算法纵横谈.信息与控制,1997,26(1):40~46

3 黄小原,肖四汉,吴书林.遗传算法在列车占线问题中的应用.信息与控制,1996,25(1):58~63

4 陈国良,王煦法,庄镇泉,等.遗传算法及其应用.北京:人民邮电出版社,1996.85~86

Study of Task Assignment of Aircraft Onboard Machine-Electronic Equipment Control and Management Integrated

Li Yang Wang Zhanlin Qiu Lihua

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Dept. of Automatic Control)

Abstract It's a trend that the aircraft onboard machine-electronic equipment is controlled and managed integrated by using the distributed processors and the network technology. How to assign the tasks of control and management to the distributed processors to balance the risk factor of system is the key technology in the problem of integrated control and management. It's also the main technology to improve the system reliability and safety. The fact is a combinatorial optimization problem. In this paper, the task assignment rules and object function are presented. The best strategy of the task assignment is searched by using the genetic algorithm, and the results are illustrated.

Key words multiprocessor systems; heuristic approach; assignment problems; combinatorial optimal