

机载公共设备管理系统中的自适应调度算法

刘 亭, 王占林, 裘丽华

(北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院机械电子工程系, 北京 100083)

摘 要: 多处理机任务分配和调度是机载公共设备综合管理系统中的一个关键技术问题。采用全局调度、局部调度和反馈调度相结合的方法, 实现不确定性情况下的混合任务动态调度。通过改进免疫克隆算法进行静态调度, 静态调度的结果作为动态分配的初始值, 动态调度具有检测、分类、自适应反馈功能, 适合混合任务共存以及变化的任务负载。

关键词: 公共设备综合管理系统; 自适应调度; 变化负载

Adaptive Scheduling Algorithm in Aircraft Utility Management System

LIU Ting, WANG Zhan-lin, QIU Li-hua

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

【Abstract】 Multiprocessor task allocation and scheduling is a key technology of the aircraft Utility Management System(UMS). Dynamic scheduling of hybrid tasks in condition of uncertain instance is carried out by means of combination of static and dynamic condition and of combination of global, local and feedback scheduling. The static scheduling is carried out by the improved immune clone algorithm. Its result is as initial value of dynamic allocation. The dynamic scheduling has the function of detecting, classifying, and adaptive feedback. It is applicable for coexistence of hybrid tasks and variety of task load.

【Key words】 Utility Management System(UMS); adaptive scheduling; variable load

机载公共设备的综合化是种必然趋势。多处理机任务分配和调度是机载公共设备综合管理系统(UMS)中一个关键技术问题, 属于 NP 难解问题, 在实际中很难得到最优解。目前 UMS 中任务调度多采用静态方法, 对动态变化的负载较少考虑。动态在线的方法对收敛性、快速性、准确性、初始值的要求较严格, 不便直接把静态的方法应用于动态的场合。

1 动态自适应任务调度算法

动态任务调度如图 1 所示。其中各部分功能如下:

- (1)静态任务分配, 其结果作为动态分配的初始值;
- (2)任务分类器, 把不同的任务区分开;
- (3)分类调度器, 不同的任务采用不同的调度方法;
- (4)检测器, 监视本处理机任务执行情况、处理机利用情况;
- (5)调整控制器, 调整处理机利用率, 对检测器监视到的情况进行相应的处理;
- (6)准入控制或可调度性测试, 测试任务在当前处理机调度上的可调度性;
- (7)创建/接收/删除任务, 处理非预测负载;
- (8)基本调度器, 本处理机上调度队列的基本调度方法;
- (9)BC 端分配器, 对任务进行全局动态分配。

RT 端处理机动态任务调度思路如下:

- (1)BC 端分配器把静态任务分配结果分配到各个 RT 端处理机;
- (2)准入控制器进行可调度性测试, 通过则准许控制, 否则拒绝, 告知 BC 端分配器, 构成全局反馈调度;

(3)任务分类器辨别任务类型, 若为周期任务采用弹性调度, 若为非周期任务采用偷间隙调度, 若为突发任务采用公平调度;

- (4)周期任务、非周期任务和突发任务组成调度队列;
- (5)调度队列采用基本调度器调度;
- (6)准备队列运行;
- (7)采用检测器对运行情况进行监视;
- (8)当欠/过载时, 调整控制器对 CPU 利用率进行调整, 并进入准入控制器, 构成局部反馈调度;
- (9)当超过载或优先级倒置时, 删除任务, 并告知 BC 端分配器, 构成全局反馈调度;
- (10)当处理机失效时, 告知 BC 端分配器, 构成全局反馈调度。

BC 端处理机动态任务分配思路如下:

- (1)BC 端分配器把静态任务分配结果分配到各个 RT 端处理机;
- (2)获得各个 RT 端处理机的 CPU 利用率情况;
- (3)对新建的任务、处理机失效的任务、局部调度被拒任务、超过载和优先级倒置而被删除的任务重新进行分类;

基金项目: 国家部委预研基金资助项目“机载公共设备综合管理系统的研究”

作者简介: 刘 亭(1977 -), 女, 博士, 主研方向: 机载公共设备综合管理系统, 机载飞行器管理系统; 王占林、裘丽华, 教授、博士生导师

收稿日期: 2007-05-10 **E-mail:** liuting@asee.buaa.edu.cn

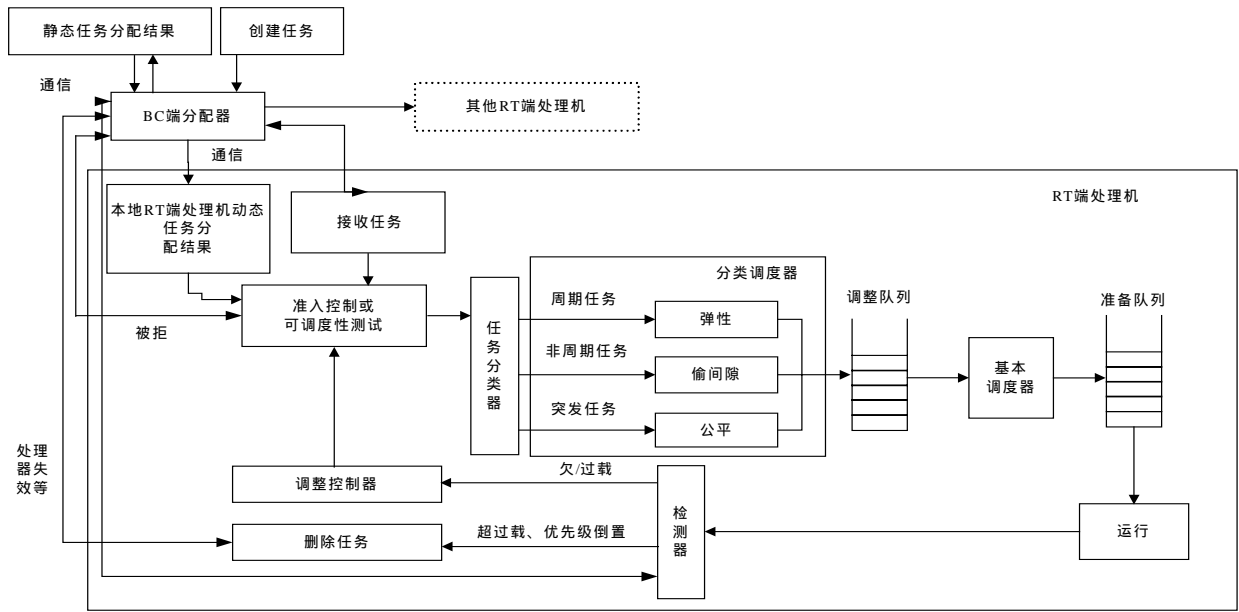


图1 动态任务调度算法示意图

(4)周期任务和突发任务采用基于公平的调度；

(5)非周期调度采用把任务动态分配到 RT 端轻载处理器的方法；

(6)当 RT 端处理机失效时，BC 端分配器采用启发式算法，对失效处理机上的任务重新分配，并唤醒其他处理机上的备份版本。

具体的自适应调度算法实现如下：

(1)静态任务分配

免疫算法用在任务调度中^[1-3]，具有很强的分布自适应性、收敛性和智能自学习能力。文献[3]采用表调度的方法，把免疫蚁群算法用到任务调度中。

本文把它应用于动态系统中，对以往离线静态和非实时的场合加以补充，进一步说明如何把它应用于通信开销、任务负载和系统资源变化的场合。

静态任务分配结果作为动态任务分配的初始查询依据。静态任务分配的目标是最小化通信开销和冲突开销，平衡各个处理机负载。本文综合考虑这些指标，约束条件采用罚函数进行处理，考虑节点差异，目标函数为式(1)， $\alpha, \beta, \gamma \in [0, 1]$ 代表权系数， S_k 代表各个处理机的处理速度系数，其他各变量的定义见文献[4]。这是一个带约束的多目标优化问题：

$$\begin{cases} \min C_{\text{total}} \\ \min \sum_{k=1}^m (U_k - (\sum_{k=1}^m U_k) / m) \\ U_k = \sum_{i=1}^n u_i (P_i) A_{i,k} \quad \hat{U} \end{cases} \quad (1)$$

建立目标函数为

$$C_{\text{obj}} = \alpha \sum_{k=1}^m (U_k / S_k - \sum_{k=1}^m (U_k / S_k) / m) + \beta C_{\text{total}} + \gamma \sum_{k=1}^m S_k / (\hat{U} - U_k) \quad (2)$$

静态任务分配采用改进的免疫克隆算法进行离线计算，多次运行，求得次优解。虽然传统的免疫克隆算法绝对收敛，但是由于初始种群的随机性，在有限的种群代数下，以及固定概率的变异，不能保证多次运行的最优率，本文采用如下的改进措施。

1)编码方式：虽然 DNA 编码的特点对于 UMS 中 4 个处理机的多任务分配系统有一定的契合点，但由于本问题具有

较多的变量，复杂度将以指数级增长，不适合采用 DNA 编码。与基于任务排列的方法相比，采用基于处理机的编码，虽然会产生编码冗余，但是具有更好的从父代继承遗传信息的能力。

2)初始种群的确定：为快速收敛到近似最优值，采用具有较好的局部寻优能力的粒子群算法产生 N 个初始抗体种群。

3)疫苗的更新：混沌序列的方法以 50 个任务的全排列进行搜索，搜索空间太大，势必会影响此算法的效率，本文以模拟退火算法对 $p_a N$ ($0 < \alpha < 1$) 个疫苗进行更新，并存储在记忆库中。

4)免疫选择概率、交叉、变异概率的确定：选择概率 p_a 、交叉概率 p_c 、变异概率 p_m 常用的方法是自适应的方法。而本文由模糊神经网络产生，输入是适应度，输出是选择概率、交叉概率、变异概率，隶属度函数采用铃形隶属度函数：

$$\mu(x) = \exp\{- (x - x_0)^2 / (2\sigma^2)\} \quad (3)$$

CPU 时间和寻优次数反映了单次运行的优化效率，最优率、空间搜索率和收敛率反映了多次运行的优化效率。仿真结果表明，改进算法与基本算法相比，平均 CPU 运行时间相差不多，寻优次数减少，最优率较高，空间搜索率较小，收敛率仍然保持为 100%，具有较好的多次运行优化效率。改进算法与传统的克隆算法相比，性能有所提高。

(2)任务分类器

本系统中实时任务错过截止期不会带来灾难性的后果，为软实时任务。根据任务特点分为周期任务、非周期任务和突发任务。周期任务具有固定的相位和周期，非周期任务在随机时间释放且有软截止期或无截止期，突发任务在随机时间释放且有硬截止期。

周期任务由执行时间 e_i ，周期 $p_i \in [p_{i0}, p_{i\max}]$ ，相位 ϕ_i ，弹性系数 E_i (E_i 与周期的变化量成正比)，最坏情况执行时间 $WCET_i$ ，CPU 利用率 $u_i = e_i / p_i$ ，绝对截止期 d_i ，释放时间 r_i ，相对截止期 $D_i = d_i - r_i$ ，松弛时间 $L_i = D_i - e_i$ 等因素来描述， $T_i = [e_i, p_i, E_i, WCET_i, u_i, d_i, r_i]$ 。

非周期任务由执行时间 e_i ，释放时间间隔 p_i ，最坏情况执行时间 $WCET_i$ ，CPU 利用率 u_i ，软截止期 d_i ，释放时间 r_i 等来描述， $T_i = [e_i, p_i, WCET_i, u_i, d_i, r_i]$ 。

突发任务由执行时间 e_i ，释放时间间隔 p_i ，最坏情况执行时间 $WCET_i$ ，CPU 利用率 u_i ，硬截止期 d_i ，释放时间 r_i 等来描述， $T_i = [e_i, p_i, WCET_i, u_i, d_i, r_i]$ 。

(3)分类调度器

周期任务采用可变负载的弹性调度，弹性调度使周期在 $[p_{i\min}, p_{i\max}]$ 之间变化，通过压缩任务周期，增大任务利用率，改善欠载状况，提高 QoS，过载时则延伸任务周期，提高采样周期内周期任务实例执行的数目；非周期任务采用偷闲调度；突发任务采用公平调度。

(4)检测器

由检测器对运行情况进行监视，监视处理机利用率情况，监测任务优先级倒置、处理器失效、欠载、过载、超过载(调整弹性任务后处理器仍然过载)、优先级倒置等情况。

(5)调整控制器

根据监测器监测的情况，对于变化的情况进行相应的处理，采用 PID 控制规则控制任务的利用率，减少任务的截止期错失率。

(6)准入控制或可调度性测试

若通过测试，则进入分类调度器，否则，通知 BC 端分配器，根据 RT 端处理器负载情况，进行全局分配。每个处理机的负载都不能超过 1。

(7)创建/接收/删除任务

处理非预测负载。

(8)基本调度器

采用故障容错 EDF。

(9)BC 端分配器

对新建的任务、处理器失效的任务、局部反馈调度被拒任务、超过载和优先级倒置而删除的任务重新进行分类。若是周期任务和突发任务，则采用基于公平的调度 PD^2 ，允许任务片在 $[0, 1]$ 内变化大小，不同特性任务片组成超任务，超任务在不同的 RT 端处理机上运行且不需要同步。若是非周期任务，通知其他轻载处理器接管该任务，把任务动态分配到 RT 端处理器，使得 RT 端处理器在原来负载基础上共同分担新增的负载，当 RT 端处理器失效时，采用启发式近视算法，分配到其他处理机上。可见本文并没有把所有的任务一开始都分配在 BC 端分配器上再向 RT 端处理器分发，而是首先由各个 RT 端处理器调度任务，对局部调度不能处理的情况进行全局调度。

(10)通信

BC 端分配器装有两余度 1553B 总线控制器 BC，RT 端处理器有 4 个，每个分别装有两余度 1553B 远程终端 RT。相互之间通过 1553B 实时总线通信，并保证各个 RT 端处理器之间的时钟同步。

(11)容错

采用多版本技术，每个任务两余度(主版本和备份版本)，备份版本在同一处理器或不同处理器上备份运行。当主版本出现故障时，副版本投入运行。

2 实验

把多处理器调度比拟为水箱模型，如图 2 所示。

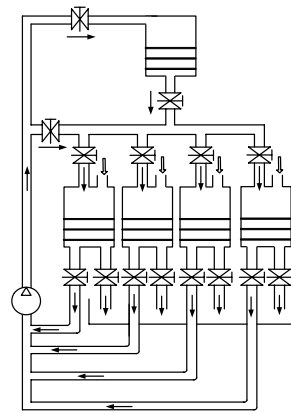


图 2 水箱模型

采用水箱模型，闭环输入模拟到达任务，开环输入表示新加入任务，开环输出表示完成任务，闭环输出表示转移，箭头表示转移方向，泵、阀表示遵守的控制策略。

一个处理器同时存在周期任务、非周期任务和突发任务时，利用率动态控制仿真结果如图 3 所示。

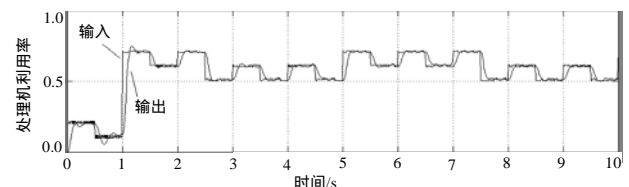


图 3 利用率控制仿真曲线

在图 3 中，输入表示期望的利用率加上了幅值为 0.01 的干扰，输出表示在动态调度策略下的实际利用率响应曲线。从图中可以看出，周期任务、非周期任务和突发任务并存时候，输出利用率可以近似跟踪期望值。上升沿和下降沿处的滞后时间和幅值超调很小，在允许的范围内。

3 结束语

本文采用动静结合的方法，实现不确定性情况下的混合任务动态调度。动态调度具有如下特点：

- (1)多任务并存，多调度方法的并发控制；
- (2)全局反馈和局部反馈并存，自适应调度适合于变化的负载。

(3)可自适应改变系统的利用率。解决机载 UMS 中变化负载情况下混合任务多处理器动态调度问题，有利于增加系统的自适应性和可扩展性，提高起落架收放、转弯半实物仿真系统的 QoS。

参考文献

- [1] Hart E, Ross P, Nelson J. Producing Robust Schedules via an Artificial Immune System[C]//Proc. of the ICEC'98. Anchorage, AK, USA: [s. n.], 1998: 464-469.
- [2] Chiu Chinchung, Hsu Chungshien, Yeh Yishiung. A Genetic Algorithm for Reliability-oriented Task Assignment with k/Spl Tilde/Duplications in Distributed Systems[J]. IEEE Transactions on Reliability, 2006, 55(1): 105-117.
- [3] 钟一文, 杨建刚. 求解多任务调度问题的免疫蚁群算法[J]. 模式识别与人工智能, 2006, 19(1): 73-78.
- [4] Liu J W S. Real-time Systems[M]. Upper Saddle River, USA: Prentice Hall, 2000.