

基于数值分析的航空发动机装配系统性能评估

程汇川, 汪 峥

(东南大学 复杂工程系统测量与控制教育部重点实验室, 江苏 南京 210096;
东南大学 自动化学院, 江苏 南京 210096)

摘要:航空发动机装配系统是一类比较复杂的装配生产系统,带有工件返件加工和工件可重入等特点,不同于一般的Jobshop和Flowshop的模型,此类复杂的生产系统应用数值分析的方法分析起来比较困难。在文中,以航空发动机装配系统的生产率为研究目标,建立了航空发动机生产系统模型,提出了基于重叠机器分解方法的性能评估算法,并与离散事件仿真结果比较。最后的实验结果表明,该数值分析方法与仿真方法相比具有很高的精确度,大大地缩短了性能评估的时间,能够有效地评估系统性能。

关键词:数值分析;复杂制造系统;性能评估

中图分类号:TP391;TH166

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)09-0023-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.09.006

Performance Evaluation of One Aircraft Engine Assembly System Based on Numerical Analysis

CHENG Hui-chuan, WANG Zheng

(Ministry of Education Key Laboratory of Measurement and Control of Complex Engineering System,
Southeast University, Nanjing 210096, China;
College of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Aircraft engine assembly system is a kind of complex manufacturing system with characteristics of rework and re-entrant loops. It's difficult to be analyzed by using numerical analysis method unlike Jobshop models and Flowshop models. In this paper, taking the productivity of aircraft engine assembly system as research object, a model of the aircraft engine assembly system is built, a performance evaluation algorithm is proposed based on the overlapping decomposition method to study the throughput of aircraft engine assembly line and compares the results with the discrete event system simulation. The results of numerical experiment show that this algorithm has a high accuracy, can reduce the time of performance evaluation and can estimate the system performance effectively.

Key words: numerical analysis; complex manufacturing system; performance evaluation

0 引言

航空发动机的装配过程包含了上百道的小工序,按照大的工艺流程来分包括:部件、传装、总装、试车、分解、故检这六大类的工序。在对发动机进行试车检验后还包含返件加工(Rework Process)与重入加工(Re-entrant Process)的情况。一台发动机的生产过程中往往要经过多次的分解后再重新装配,所以航空发动机装配系统是一类带有返件加工和可重入加工的复杂装配系统。

制造系统的数值分析对于制造系统的设计、操作与管理都有着非常重要的作用。现存的制造系统性能(平均生产率、平均在制品数量等)评估方法分为两类:分解方法和聚合方法。

分解方法的思想是将一条长的生产线分解为若干的两机器短生产线进行分析。Gershwin和Berman^[1]首先提出了利用概率平衡方程解决两机器的稳态分析问题。此后Dallery等^[2]提出了基于两机器平衡方程的串行生产线性能评估算法(DDX算法)。在此基础

收稿日期:2012-11-26

修回日期:2013-02-27

网络出版时间:2013-05-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60934008)

作者简介:程汇川(1989-),男,安徽安庆人,硕士研究生,研究方向为制造系统的数值分析与优化;汪 峥,博士,教授,博士生导师,研究方向为制造系统理论研究、知识化制造。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130509.1058.023.html>

上, Colledani 和 Tolio^[3]提出了在机器具有多种失效模式下串行生产线的分析算法。

聚合算法中, Li 等^[4]总结了常见的 Jobshop 和 Flowshop 的聚合方法的应用。Meerkov^[5]首先给出了基于聚合方法的串行生产系统生产率计算方法, 该方法在理论上证明了算法是稳定收敛的, 但缺点是要求单机生产率必须都相同。Chiang 等^[6]提出了串行生产系统中机器阻塞概率和饥饿概率的计算方法以及瓶颈工位的识别。Li^[7-8]以串行生产线的分析为基础, 提出了重叠机器分解方法(Overlapping Decomposition Method), 能够有效地评估含有返件加工的装配生产系统的生产率。Liu^[9]给出了工件具有确定重入次数的可重入生产线的评估算法。幸研、易红等提出了基于 Petri 网的性能评估方法^[10]。

更一般的, 对于复杂制造系统的性能评估采用仿真的办法。侯扬等^[11]总结了制造系统中仿真模型的建立方法, 卫军胡等^[12]总结了离散时间系统仿真技术在制造系统中的应用。文献[13-14]中分别针对桥壳生产系统和罩式炉退火车间这两类复杂系统进行了离散事件仿真。仿真方法与数值方法相比, 优点在于更加贴近实际模型, 缺点是仿真时长较长, 且不能反映系统内部特性。

文中以航空发动机装配系统的生产率为性能评估目标, 建立生产系统的模型, 应用重叠机器分解方法进行性能评估, 并与离散事件仿真的结果进行比较。最终的实验结果表明, 文中的数值分析方法稳定收敛, 精确度高, 能够有效地评估发动机生产系统的性能。

1 系统模型的建立及问题定义

航空发动机装配系统是一类比较复杂的装配系统, 范金松等^[15]对航空发动机装配系统进行了描述。因为对发动机可靠性的要求, 所以每台发动机都需要进行至少两次装配, 在每次装配结束后会对发动机进行试车检验, 检测发动机是否符合相关的技术指标。装配结束后第一次试车检验为合格的发动机需要分解后再重新装配一遍, 这个过程称为重入加工(Re-entrant Process), Kumar^[16]于 1993 年首次提出了可重入生产线(Re-entrant Line)的概念, 并作为区分 Flow Shop 和 Job Shop 的第三类生产系统。装配结束并第二次通过试车检验的发动机才能离开生产线完成加工。也就是说, 发动机完成装配的必要条件是两次通过试车检验, 通常记发动机从开始装配到第一次通过试车检验、分解、故检为第一次装配, 分解后重新装配到第二次通过试车检验、出厂为第二次装配。而对于试车检验不合格的发动机, 也需要分解重新加工, 这个过程称为返件加工(Re-work Process)。令检测不合

格的概率为 α , 假设每次装配都是独立的行为, 则每台发动机需要的装配次数期望为 $(2 + 2 \times (\alpha + \alpha^2 + \dots))$ 次。

基于以上对发动机装配系统的分析, 并对装配过程中细小工序的简化, 建立航空发动机装配系统模型如图 1 所示, 图中方块代表完成各道工序所在的机器、圆圈代表机器间的缓冲区。

其中 m_1, \dots, m_{14} 和 m_{a1}, \dots, m_{a21} 以及中间的缓冲区为航空发动机各道组装工序的装配生产环节, m_i 为试车检验环节, 对装配完的发动机进行试车检验, m_d 为分解环节, 对试车检验不合格或需要重入加工的发动机进行分解, m_{fd} 为故障检测环节, 对分解完的部件进行故障检测, m_c 为出厂检验环节, 将第一次试车检验合格的发动机送到机器 m_d 进行分解, 将第二次检验合格的发动机送出生产系统。

为了方便起见, 介绍性能评估时出现的一些变量:

M : 所有机器的集合, 包括 $m_1, \dots, m_{14}, m_{a1}, \dots, m_{a21}, m_i, m_d, m_{fd}, m_c$;

$m_i, i \in M$: 第 i 台机器。若 $i=1, \dots, 14$, 则 m_i 为总装线上的机器; 若 $i=a1, \dots, a21$, 则 m_i 为分装线上的机器; 若 $i=t$, 则 m_i 为试车检验机器; $i=d$ 时 m_d 为分解机器; $i=fd$ 时 m_{fd} 为故障检测机器; $i=c$ 时 m_c 为出厂检验机器;

$p_i, i \in M$: 机器 m_i 的故障率;

$r_i, i \in M$: 机器 m_i 的修复率;

B : 所有缓冲区的集合, 包括 $B_1, \dots, B_{14}, B_{a1}, \dots, B_{a21}, B_q, B_{uq}, B_d, B_{fd}, B_c$;

$B_i, i \in B$: 机器间的缓冲区;

$N_i, i \in B$: 缓冲区 B_i 的容量;

α : 机器 m_i 上试车检测环节结果为不合格的返件加工概率;

β : 机器 m_c 上出厂检测环节结果为未完成加工的概率。

图中的航空发动机生产系统由一条总装线(机器 m_1, \dots, m_{14} , 缓冲区 B_1, \dots, B_{14}), 若干条分装线(机器 m_{a1}, \dots, m_{a21} 和缓冲区 B_{a1}, \dots, B_{a21}), 一个返件加工回路(包括机器 m_i, m_d, m_{fd}, m_i 和缓冲区 B_{uq}, B_d, B_{fd}), 一个重入加工回路(包括机器 $m_i, m_c, m_d, m_{fd}, m_i$ 和缓冲区 B_q, B_c, B_d, B_{fd}) 组成。

发动机装配系统模型中的机器、缓冲区及它们之间的一些交互作用假设如下:

- (1) 系统中的每台机器都有两个状态: 正常工作状态与故障状态, 当机器处于正常工作状态时, 能够以单位时间生产一个工件的加工速度生产, 且每台机器的加工速度相同, 当机器发生故障时, 不能加工工件。
- (2) 机器 $m_i, i \in M$ 的正常运行时间与故障停机时

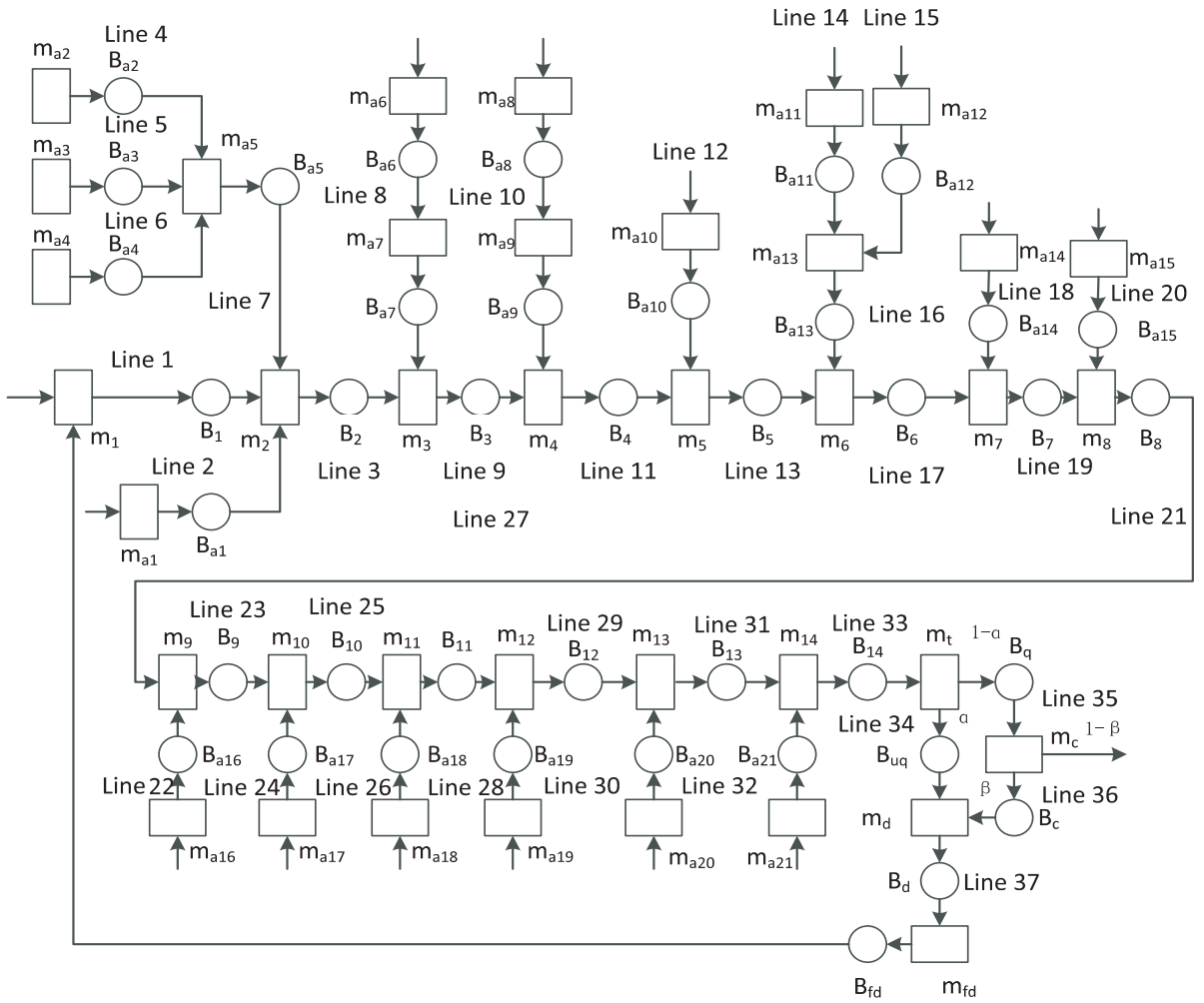


图1 航空发动机装配系统模型

间服从参数 r_i 和 p_i 的指数分布,即机器 m_i 的平均故障时间与修复时间为 $\frac{1}{p_i}$ 与 $\frac{1}{r_i}$ 。

(3)缓冲区 $B_i, i \in B$ 具有有限的容量 $N_i(0 \leq N_i < \infty)$ 。

(4)在 t 时刻,当机器 $m_i(i \in M, i \neq t, c)$ 所有下游缓冲区都已满,则机器 m_i 处于被阻塞状态。特别地:

- ①试车检验为合格且缓冲区 B_q 为满时,机器 m_t 被缓冲区 B_q 阻塞;检验为不合格且缓冲区 B_{uq} 为满时,机器 m_t 被缓冲区 B_{uq} 阻塞;
- ②当发动机在机器 m_c 上检测为完成第一次装配且缓冲区 B_c 为满时,机器 m_c 被 B_c 阻塞;检测为完成第二次装配时,机器 m_c 永远不会被阻塞。

(5)在 t 时刻,当机器 $m_i(i \in M, i \neq t, c)$ 任一上游缓冲区为空时,则机器 m_i 处于饥饿状态。特别地:

- ①总装线和分装线的第一台机器永远不会处于饥饿状态;
- ②当缓冲区 B_c 和 B_c 同时为空时,机器 m_d 处于饥饿状态。

(6)第一次装配的发动机与重入后第二次装配的发动机以及返件加工的发动机拥有相同的优先级,即

每次加工的发动机优先级相同。系统在运行稳定后,可认为系统中第一次装配与第二次装配的发动机具有相同的分布。

(7)在机器 m_t 上进行的试车检测环节,记发动机检测为不合格的概率为 $\alpha(0 \leq \alpha \leq 1)$ 。检测合格的发动机在缓冲区 B_q 未满的情况下会被送到缓冲区 B_q ,检测不合格的发动机在缓冲区 B_{uq} 未满的情况下会被送到 B_{uq} 等待分解。

(8)在机器 m_c 上进行出厂检测,完成两次装配的发动机离开生产线,而未完成所有装配的发动机送回系统中分解重新装配。记出厂检测中检测结果为未完成所有装配的概率为 β ,由于系统稳态时正在进行第一次装配和第二次装配的发动机分布相同,因此可认为 $\beta = 0.5$ 。

2 性能评估算法

文中的性能评估算法的思想是将复杂的系统分解为串行生产系统,利用已有的串行生产线分析方法进行求解。算法可分为装配系统分解、重叠机器参数设置、迭代求解三部分,下面将逐一介绍。

2.1 装配系统的分解

根据重叠机器分解算法,首先将图1中的航空发动机装配系统分解为串行生产线。定义系统中总装线、分装线、返件加工回路、重入加工回路之间相互有合并或分离的机器为重叠的机器,例如 m_2, m_{a5}, m_i 等。分解是基于重叠的机器进行的,原则是由总装线、分装线的第一台机器或者重叠的机器开始,直到遇到下一个重叠的机器或者总装线的最后一台机器,包含这两台机器中间所有的机器和缓冲区构成一条串行的生产线。如图1中的系统,可以从任意一台重叠的机器开始,比如从机器 m_1 开始,直到遇到重叠的机器 m_2 停止,包含中间的缓冲区 B_1 构成了一条串行生产线,再从 m_2 开始分解,以此类推将航空发动机生产系统分解为37条串行生产线(如图1所示)。注意到重叠的机器不同于一般的机器,分解之后重叠的机器会出现在不同的串行生产线中,例如 m_2 会成为Line1、Line2、Line7的最后一台机器,Line3的第一台机器,因此需要对其参数进行重新的配置。

2.2 分解后重叠机器参数的设置

分解后的串行生产线中非重叠的机器继承原来机器的参数,重叠的机器参数需要重新设置。由于系统模型太大且有很多的处理方法相同,因此文中仅选取有代表性的几种情况进行分析,图2中的模型为经典的装配生产线模型。

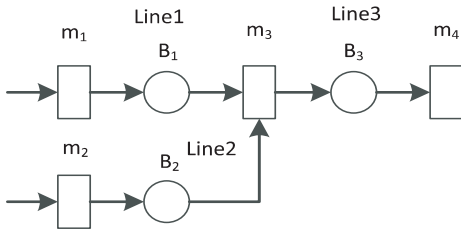


图2 装配生产系统的基本模型

根据2.1中介绍的分解方法,可以将图2中的系统分解为如下3条串行的生产线:

$$\text{Line1: } m_1, B_1, m_3^1$$

$$\text{Line2: } m_2, B_2, m_3^2$$

$$\text{Line3: } m_3^3, B_3, m_4$$

其中 m_3^1, m_3^2, m_3^3 分别为 m_3 分解到Line1、Line2、Line3中的虚拟机器。装配线中,机器 m_3 在任意一个上游缓冲区为空的情况下会处于饥饿状态,而在所有下游缓冲区均为满的状态下会处于阻塞状态。根据机器被饥饿、阻塞的概率来设置虚拟机器参数,令 r_3^1, p_3^1 分别表示机器 m_3^1 的修复率和损坏率,得到:

$$r_3^1 = r_3 \text{Prob}\{m_3 \text{ 没有被 } B_2 \text{ 阻塞}\} \times \text{Prob}\{m_3 \text{ 没有被 } B_3 \text{ 饥饿}\}$$

$$p_3^1 = p_3 + r_3 - r_3^1 \quad (1)$$

同理可得到 m_3^2, m_3^3 的参数如下:

$$r_3^2 = r_3 \text{Prob}\{m_3 \text{ 没有被 } B_1 \text{ 阻塞}\} \times \text{Prob}\{m_3 \text{ 没有被 } B_3 \text{ 饥饿}\}$$

$$p_3^2 = p_3 + r_3 - r_3^2 \quad (2)$$

$$r_3^3 = r_3 \text{Prob}\{m_3 \text{ 没有被 } B_1 \text{ 饥饿}\} \times \text{Prob}\{m_3 \text{ 没有被 } B_2 \text{ 饥饿}\}$$

$$p_3^3 = p_3 + r_3 - r_3^3 \quad (3)$$

以上以图2中的模型为例介绍了装配线中重叠机器的参数配置方法。类似地,可以对航空发动机装配系统中的机器 $m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7, m_8, m_9, m_{10}, m_{11}, m_{12}, m_{13}, m_{14}, m_{a5}, m_{a13}, m_d$ 进行处理。机器 m_i, m_c 的情况比较特殊,下面进行单独的分析。

机器 m_i 在发动机试车测试通过且缓冲区 B_{uq} 为满或者测试不通过且缓冲区 B_q 为满的情况下处于阻塞状态,在 B_{14} 为空的状态下处于饥饿状态。令 $m_i^{33}, m_i^{34}, m_i^{35}$,分别表示 m_i 分解到串行生产线Line33, Line34, Line35上的虚拟机器,得到:

$$r_i^{33} = r_i \times [1 - \alpha \times \text{Prob}\{m_i \text{ 被缓冲区 } B_{uq} \text{ 阻塞}\} - (1 - \alpha) \times \text{Prob}\{m_i \text{ 被缓冲区 } B_q \text{ 阻塞}\}]$$

$$p_i^{33} = p_i + r_i - r_i^{33} \quad (4)$$

$$r_i^{34} = r_i \times \alpha \times \text{Prob}\{m_i \text{ 没有被缓冲区 } B_{14} \text{ 饥饿}\}$$

$$p_i^{34} = p_i + r_i - r_i^{34} \quad (5)$$

$$r_i^{35} = r_i \times (1 - \alpha) \times$$

$$\text{Prob}\{m_i \text{ 没有被缓冲区 } B_{14} \text{ 饥饿}\}$$

$$p_i^{35} = p_i + r_i - r_i^{35} \quad (6)$$

机器 m_c 在发动机检测为未完成装配且缓冲区 B_c 为满的情况下处于阻塞状态,在缓冲区 B_q 为空的情况下处于饥饿状态。令 m_c^{35}, m_c^{36} 分别表示 m_c 分解到串行生产线Line35, Line36上的虚拟机器,得到:

$$r_c^{35} = r_c \times \beta \times \text{Prob}\{m_c \text{ 没有被 } B_c \text{ 阻塞}\}$$

$$p_c^{35} = p_c + r_c - r_c^{35} \quad (7)$$

$$r_c^{36} = r_c \times \beta \times \text{Prob}\{m_c \text{ 没有被 } B_q \text{ 饥饿}\}$$

$$p_c^{36} = p_c + r_c - r_c^{36} \quad (8)$$

2.3 迭代求解

根据2.2节中的方法,可以将发动机装配系统分解为37条串行生产线进行迭代求解。式(1)~式(8)中,虚拟机器参数的设置需要用到该机器相对应的串行生产线中最后一台机器被饥饿的概率以及第一台机器被阻塞的概率,定义算子 $ST_i(j)$ 表示第 i 条串行生产线在第 j 次迭代中第一台机器被阻塞的概率,算子 $BL_i(j)$ 表示第 i 条生产线在第 j 次迭代中最后一台机器被饥饿的概率。算子的初始条件如下:

$$ST_i(0) = 0, \quad i = 1, \dots, 37 \quad (9)$$

$$BL_i(0) = 0, \quad i = 1, \dots, 37 \quad (10)$$

由初始条件能得到第一次迭代中所有串行生产线

的参数。评估串行生产线性能时需要用到串行生产线的分析方法,由于篇幅的限制文中不再详细描述而直接引用结果,具体可参考 Gershwin 基于分解的方法^[1]或者 Meerkov 基于聚合的方法^[5]。应用串行生产线的评估方法能够计算出每条串行生产线的性能(包括生产率以及饥饿、阻塞的概率)。定义 $\widehat{pr}_i(j)$ 为第 i 条串行生产线第 j 次迭代中评估的生产率,每次的迭代都会产生一组 $\widehat{pr}_i(j)$ 和 $ST_i(j), BL_i(j)$ 。用 $ST_i(j), BL_i(j)$ 可计算出下次迭代中每条串行生产线参数,再进行下一次迭代,直到系统稳定收敛为止,其终止条件如下:

$$\begin{aligned} \widehat{pr}_1 &= \widehat{pr}_2 = \dots = \widehat{pr}_{33} = \widehat{pr}_{37} \\ \widehat{pr}_{33} &= \widehat{pr}_{34} + \widehat{pr}_{35} \\ \widehat{pr}_{36} &= \beta \times \widehat{pr}_{35} \end{aligned} \quad (11)$$

定义 \widehat{PR} 为航空发动机装配系统的生产率,可得最终的生产率为:

$$\widehat{PR} = \widehat{pr}_{35} - \widehat{pr}_{36} \quad (12)$$

3 实验结果

为了测试算法的精确度,对数值试验的结果与离散事件仿真的结果进行对比,做了 100 组的对比实验。每组实验的参数随机等概率地从下列集合中取值:

$$\begin{aligned} r_i &\in \{0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25\} \quad i = 1, \dots, 14 \\ p_i &\in \{0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05\} \quad i = 1, \dots, 14 \\ r_i &\in \{0.04, 0.08, 0.12, 0.16\} \quad i = a1, \dots, a21, t, d, fd, c \\ p_i &\in \{0.02, 0.04, 0.06, 0.08\} \quad i = a1, \dots, a21, t, d, fd, c \\ N_i &\in \{5, 10, 15\} \quad i = 1, \dots, 14 \\ N_i &\in \{10, 15, 20\} \quad i = a1, \dots, a21, t, d, fd, c \\ a &\in \{0.1, 0.2, 0.3\} \end{aligned}$$

该算法与离散事件仿真算法均采用 VS2010 C++ 编程。在仿真算法中,假设所有的缓冲区在初始时刻都为空,假设前 5000 个仿真时钟周期能使系统达到稳定状态,在接下来的 50000 个时钟周期里观察结果,得到系统的生产率。考虑到仿真算法存在随机误差的影响,该次实验中采用一组数据仿真 10 次取平均值的办法来消除随机误差造成的影响。定义数值方法与仿真方法相比的误差为:

$$e = \frac{\widehat{PR} - PR}{PR} \times 100\% \quad (13)$$

其中 \widehat{PR} 和 PR 分别表示数值算法和仿真方法得到的生产率结果,误差的结果如图 3 所示。

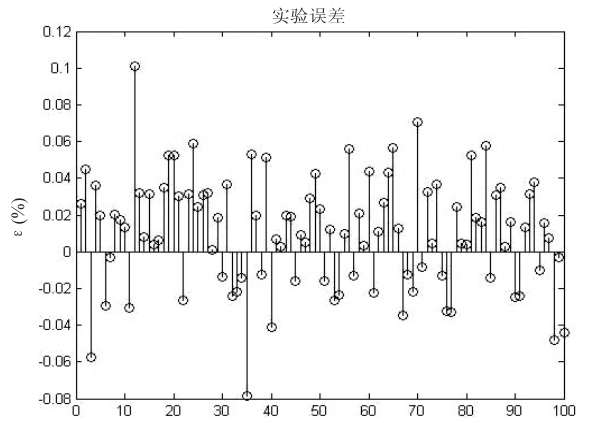


图3 算法精确度

最后的实验结果如表 1 所示。

表 1 实验结果统计 %

Average e	max e	e < 5%	e < 10%
2.6	10.1	87	99

表 1 中统计了所有实验的平均误差和最大误差,超过 87% 的情况中,误差在 5% 以内,只有 1% 的情况,误差在 10% 以上,最大误差为 10.1%。100 次的数值分析实验耗时为 0.31 s,而 100 次的仿真实验耗时为 15.5 s。由此能够得到结论,文中的算法能够降低性能评估时长,有效地评估航空发动机生产系统的性能。

4 结束语

文中针对航空发动机装配车间这类复杂制造系统性能评估问题提出了基于重叠机器分解的算法。算法中将复杂的制造系统分解为串行的生产系统,并应用串行生产线的分析方法迭代求解。通过与实验仿真结果的对比表明该算法能够很好地评估航空发动机装配系统的性能。虽然该算法可以解决文中提出的性能问题,但是要求模型中每台机器的生产率必须相同,在机器生产率不同的情况下无法解决算法收敛的问题。在接下来的研究中,将继续对算法进行改进,使其能够应用到更通用的模型中去。

参考文献:

[1] Gershwin S B, Berman O. Analysis of transfer lines consisting of two unreliable machines with random processing times and finite storage buffers [J]. IIE Transactions, 1983, 13 (1): 2-11.

[2] Dallery Y, David R, Xie X L. Approximate analysis of transfer lines with unreliable machines and finite buffers [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1989, 34(9): 943-953.

[3] Colledani M, Tolio T. Performance evaluation of transfer lines with general repair times and multiple failure modes [J]. Annals of Operations Research, 2011, 182(1): 31-65.

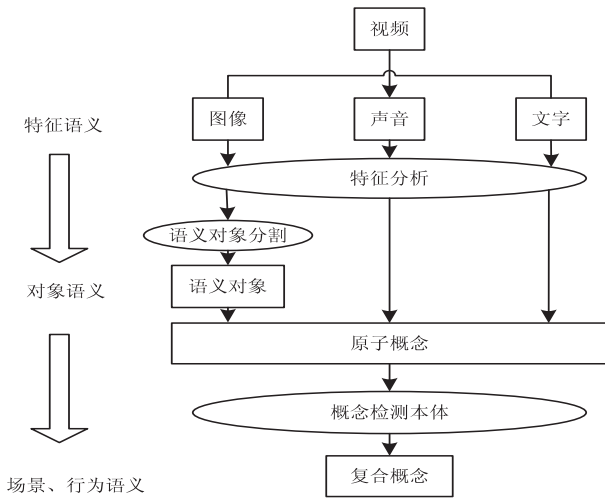


图5 语义提取框架

3 结束语

文中提出了一种新的基于本体的复合概念检测模型。不仅利用了本体表示概念的优越性,同时也考虑了视频语义的多层级多粒度性,以及视频的多模式特征,扩展和加深了语义模型对视频语义的分析和理解,使得自动、全面的视频语义分析得以更好的实现。

参考文献:

[1] 魏 伟,游 静,刘凤玉,等. 语义视频检索综述[J]. 计算机科学,2006,33(2):1-7.

[2] 李 景. 本体理论在文献检索系统中的应用研究[M]. 北京:北京图书出版社,2005.

[3] Li J, Blumenfeld D E, Huang N, et al. Throughput analysis of production systems: recent advances and future topics[J]. International Journal of Production Research, 2009, 47(14): 3823-3851.

[4] Jacobs D A, Meerkov S M. Mathematical theory of improvability for production systems[J]. Mathematical Problems in Engineering, 1995, 1(2): 95-137.

[5] Chiang S Y, Kuo C T, Meerkov S M. c-Bottleneck in serial production lines[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2001, 7: 543-578.

[6] Li J. Performance analysis of production systems with rework loops[J]. IIE Transactions, 2004, 36(8): 755-765.

[7] Li J. Overlapping decomposition: a system-theoretic method for modeling and analysis of complex production systems[J]. IEEE Transactions on Automation Sciences and Engineering, 2005, 2(1): 40-53.

[8] Liu Y, Li J, Chiang S Y. Re-entrant lines with unreliable asynchronous machines and finite buffers: performance approximation and bottleneck identification[J]. International Journal

of Production Research, 2011, 50(4): 977-990.

[9] 幸 研,易 红,汤文成. 制造系统 workflow 设计的校验和性能分析方法[J]. 西安交通大学学报, 2002, 36(3): 278-281.

[10] 侯 扬,范秀敏,严隽琪,等. 基于仿真的制造系统对象建模及其应用[J]. 计算机集成制造系统, 2001, 7(5): 42-46.

[11] 卫军胡,韩九强,孙国基. 离散事件系统仿真技术在制造系统调度中的应用[J]. 系统仿真学报, 2000, 12(1): 27-30.

[12] 吴文涛,朱华炳. 基于 UML 的桥壳生产系统仿真建模研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2010(2): 95-97.

[13] 刘 颖,王 伟,刘全利. 基于 SystemC 的罩式炉退火车间离散事件仿真模型[J]. 大连理工大学学报, 2010, 50(1): 145-151.

[14] 范金松,严洪森,周久海,等. 基于遗传算法的某航空发动机装配车间优化调度[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(9): 205-209.

[15] Kumar P R. Re-entrant lines[J]. Queueing Systems, 1993, 13(1-3): 87-110.

[16] 王 忠. 基于内容的视频检索关键技术的研究与实现[D]. 西安:西安电子科技大学, 2009.

[17] 史迎春,周献中,方鹏飞. 综合利用形状和颜色特征的台标识别[J]. 模式识别与人工智能, 2005, 18(2): 216-222.

[18] 桂丹萍,陈佳祥,何红生. 视频检索在汉字识别中的应用研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(10): 207-210.

[19] Natsev A, Naphade M R, Smith J R. Semantic Representation Search and Mining of Multi-media Content[C]//Proceeding of ACM International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Seattle, WA, USA: [s. n.], 2004: 641-646.

[20] Wu Y, Chang E Y. Optimal multi-model fusion for multimedia data analysis[C]//Proceeding of ACM International Conference on Multimedia. New York, USA: [s. n.], 2004: 572-579.

[21] Hauptmann A, Chen M Y, Christel M, et al. Confounded Expectations: Informedia at TRECVID 2004[C]//Proc. of NIST TRECVID Workshop. Gaithersburg, USA: [s. n.], 2004.

[22] 魏 伟,邹书蓉,刘凤玉. 多层视频语义概念分析与理解[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(1): 85-92.

[23] 张 良. 一种视频关键词语义对象的检测方法[J]. 北京信息科技大学学报, 2010, 25(2): 75-78.

[24] 刘 志,张兆杨. 语义对象分割技术综述[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2007, 13(4): 477-484.

[25] Li Min, Gao Jue, Wu Jiajia, et al. Semantic Object Segmentation in Video Retrieval[C]//Proc. of the 2nd International Conference on Electronics, Communications and Control. [s. l.]: IEEE, 2012.

[26] Ganong W F. Review of Medical Physiology[M]. New York: McGraw-Hill Publishing Company, 1999.

(上接第 27 页)

基于数值分析的航空发动机装配系统性能评估

作者: 程汇川, 汪峥, CHENG Hui-chuan, WANG Zheng
作者单位: 程汇川, CHENG Hui-chuan(东南大学 复杂工程系统测量与控制教育部重点实验室, 江苏 南京, 210096), 汪峥, WANG Zheng(东南大学 自动化学院, 江苏 南京, 210096)
刊名: 计算机技术与发展

ISTIC

英文刊名: Computer Technology and Development

年, 卷(期): 2013(9)

参考文献(16条)

1. Gershwin S B, Berman O Analysis of transfer lines consisting of two unreliable machines with random processing times and finite storage buffers 1983(01)
2. Dallery Y, David R, Xie X L Approximate analysis of transfer lines with unreliable machines and finite buffers[外文期刊] 1989(09)
3. Colledani M, Tolio T Performance evaluation of transfer lines with general repair times and multiple failure modes 2011(01)
4. Li J, Blumenfeld D E, Huang N Throughput analysis of production systems: recent advances and future topics 2009(14)
5. Jacobs D A, Meerkov S M Mathematical theory of improvability for production systems 1995(02)
6. Chiang S Y, Kuo C T, Meerkov S M c-Bottleneck in serial production lines 2001
7. Li J Performance analysis of production systems with rework loops[外文期刊] 2004(08)
8. Li J Overlapping decomposition: a system-theoretic method for modeling and analysis of complex production systems 2005(01)
9. Liu Y, Li J, Chiang S Y Re-entrant lines with unreliable a-synchronous machines and finite buffers: performance approximation and bottleneck identification 2011(04)
10. 幸研, 易红, 汤文成 制造系统 workflow 设计的校验和性能分析方法[期刊论文]-西安交通大学学报 2002(03)
11. 侯扬, 范秀敏, 严隽琪 基于仿真的制造系统对象建模及其应用[期刊论文]-计算机集成制造系统-CIMS 2001(05)
12. 卫军胡, 韩九强, 孙国基 离散事件系统仿真技术在制造系统调度中的应用[期刊论文]-系统仿真学报 2000(01)
13. 吴文涛, 朱华炳 基于UML的桥壳生产系统仿真建模研究[期刊论文]-组合机床与自动化加工技术 2010(02)
14. 刘颖, 王伟, 刘全利 基于SystemC的罩式炉退火车间离散事件仿真模型[期刊论文]-大连理工大学学报 2010(01)
15. 范金松, 严洪森, 周久海 基于遗传算法的某航空发动机装配车间优化调度[期刊论文]-计算机技术与发展 2012(09)
16. Kumar P R Re-entrant lines 1993(1-3)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201309006.aspx