

柔性制造系统多任务可靠性建模 与分析的研究*

胡华平

(国防科技大学计算机系 长沙 410073)

摘要 本文首先对FMS可靠性建模与分析的研究进行了综述;然后针对我国在FMS可靠性研究方面存在的主要问题,提出了在FMS多任务可靠性建模与分析方面可开展的研究工作。

关键词 柔性制造系统,任务可靠性,建模,仿真

分类号 TH165.2

A Study of Modelling and Analysis of FMS Multi-mission Reliability

Hu Huaping

(Department of Computer Science, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract This paper first summarizes FMS reliability modelling and analysis. Then aimed at the main problem in the study of FMS reliability in China, the research direction for FMS multi-mission reliability modelling and analysis is pointed out.

Key words Flexible Manufacturing System (FMS), mission reliability, modelling, simulation

柔性制造系统(FMS)是60年代后期发展起来的一种新的制造系统。它是由计算机控制,由一组数控机床和其他自动化工艺设备所组成,可以按任意顺序加工一组有不同工序和加工节拍的工件,是具有防备故障产生并维持生产能力的自动化加工系统。由于FMS具有较高的生产率和对产品及市场的快速应变的能力,其在制造领域得到了广泛的应用,在英、美、日、德等工业化国家尤其是如此。我国从80年代初期就开始了FMS的研究和应用工作,取得了不少成果,但和发达国家相比还存在很大的差距^[1,2]。

1 柔性制造系统(FMS)

一个典型的FMS由以下子系统构成

* 国防预研基金资助项目
1996年3月29日收稿

①加工系统：它一般由加工中心，数控机床或柔性加工单元组成。

②物流系统：由物料运输小车（MIIC）、传送带、清洗站、测量站、缓冲站、装卸站等组成。FMS 的物流系统必须是自动分配系统。

③刀具流系统：由换刀设备（如换刀机器人）、刀具装卸站、刀具预调仪等组成。

④控制系统：由局部通信网络和中央控制计算机组成的分布式多级控制。

⑤监控系统：通过各种同计算机连接的传感器，实现电网监控、安全监控和设备监控；设备监控主要有机床监控、刀具监控、工件监控三种。

FMS 提供了各种柔性，主要有空间柔性（使用一设备可以同时生产不同的产品），时间柔性（即使发生产品更新等生产对象的变化，用原来的设备仍可以进行新的生产。）、过程柔性、加工线路柔性和加工柔性等^[3]。其中加工线路柔性和加工柔性对 FMS 可靠性来说是至关重要的。

(a) 加工线路柔性：度量系统有故障时继续生产的能力，其含义为每个工件可以通过几条加工线路来完成加工，或一种加工操作可以在多个加工中心进行；

(b) 加工柔性：每个工件的加工顺序可以改变，加工柔性取决于工件而非 FMS。若事先不确定下一个加工工序，也可增加实时决策的柔性。

2 FMS 可靠性建模的意义

可靠性建模过程可以在系统设计的不同阶段重现。当进行总体设计时，设计者可以建立系统级模型用以设定对分系统的可靠性要求；当进行分系统设计时，设计者可以建立分系统可靠性模型，并用预计的结果修正系统级模型。在 FMS 可靠性分析中，可靠性模型的建立是至关重要的，其意义主要表现在：

①可靠性模型的建立是可靠性预计和分配的基础。所建立的可靠性模型是否合理反映系统各组件、元器件之间的可靠性关系是决定可靠性预计结果准确的必要条件，也是决定可靠性分配是否合理的充分条件；

②基本可靠性和任务可靠性模型的建立是权衡人力、物力、费用和任务之间的依据。设计者的责任就是在不同的设计方案中利用基本可靠性和任务可靠性进行权衡，在一定条件下得到最合理的设计方案；

③可靠性模型的建立有利于发现系统的薄弱环节，并改进设计。

④可靠性模型的建立是对系统进行可靠性评价和求解各种可靠性参数的必由之路。目前对可靠性参数（如系统可靠度、MTBF 等）的求解，无论是用解析方法还是仿真方法，都是在一定的可靠性模型基础上进行的。

3 FMS 可靠性建模与分析的研究现状

研究 FMS 可靠性的方法主要有解析方法和仿真方法两种。解析方法主要适用于系统的可靠性数学模型的可靠性参数明确的情况；而对于大规模的复杂系统、可维修的复杂系统、具有相关失效的系统、具有贮备的系统、单元的寿命分布或修复时间分布为非指数分布的系统，用常规的解析方法来确定系统的可靠性参数是十分困难的，有些甚至是不可能的，此时就可借助于仿真方法^[4]。

排队论方法可用于解决制造系统的可靠性问题, 但仅局限于生产线^[5-7]或小型的装配系统。排队论一般只能解决服务台可靠情况下的问题, 而且对于连续几道服务台的顾客问题, 就遇到有限中间排队坐位困难。对于服务台(工作站)可修问题, 则停留在两级工作站的情况, 三级以上的系统则过于繁琐, 难以实现。

马尔柯夫方法虽然用以解决故障时间分布和维修时间分布为指数分布的情况比较成功, 但对于组成系统的单元数超过 10 的系统, 则难以用马尔柯夫过程描述并分析。其原因主要在于模型的复杂性。对于只含有两状态单元的系统, 状态空间的规模为 2^n , 当 $n > 10$ 后, 状态数量的急剧增加, 使得很难用手工完成状态转移图的生成, 以至于几乎不可能对系统进行分析。

中科院自动化所的疏松桂, 针对带有中间缓冲库的多级可修生产线, 提出等效工作站模型, 并运用系统可靠性理论及排队论, 建立柔性生产线的数学模型^[8]。这是一个工艺流程和状态转移相结合的生产过程与系统可靠性的混合模型。该模型较成功地解决了固定工件、固定加工工序的问题, 至于它是否适用于 FMS 多任务情况, 该文未讨论。

美国与印度的两名记者, 针对由若干台半独立的多功能加工中心、物料传送系统和控制系统组成的 FMS, 给出了单一工件和系统的可靠性定义, 并用过程生成图 (PSG) 法来研究 FMS 可靠性^[9]。该方法虽将图论的有关概念引入 FMS 可靠性分析中, 但当系统结构较复杂或系统同时加工的工件较多时, 就难以给出工件的所有 PSG 集合, 从而难以研究 FMS 的可靠性; 而且该方法难以计算机化, 因而也就难以工程化。

中国台北的两名作者从系统的角度出发, 建立了 FMS 可靠性估计的定性模型, 用以确定与系统初始可靠性(系统结构布局)、设备的质量、生产环境的变化、工作经验以及维修策略等五个方面有直接关系的主要失效模型^[10]。模型的参数是用模糊信息(专家打分法)来估计的, 组成系统各单元的失效率只有从实际运行中得到的。

仿真是研究 FMS 可靠性的一种十分有效的方法。从可靠性观点看, 仿真可用于识别系统的关键单元、发现系统的瓶颈口、评估不同工件组合对系统性能的影响、确定缓冲站的数目、评估组成系统各单元的可靠性参数变化对系统可靠性的影响、确定维修策略等^[12-15]。

英国二学者用仿真方法对 FMS 的生产率、可靠性、系统柔性、经济性等进行了研究, 并指出, 仿真的大量工作是收集有关生产率、物料管理和经济方面的信息^[14]。

前苏联学者曾给出了仿真评估 FMS 可靠性的仿真模型的结构示意图, 并给出了评价 FMS 可靠性的一些指标^[15]。他指出, 仿真的大量工作是获得 FMS 物理结构和生产流程的大量数据。

虽然可靠性理论发展已经比较成熟, 但有关 FMS 可靠性研究却存在以下问题:

①在可靠性建模过程中, 假设条件过多, 使建立的可靠性模型和实际相差甚远, 所得的结论就难以令人信服^{[8],[11]};

②FMS 是一个多功能、复杂的大系统, 加工的工件种类很多, 且具有加工柔性和线路柔性。而大部分文献的 FMS 可靠性建模过程中都回避它^{[10],[11]}, 即使涉及到, 所采用的建模方法也相当复杂^[9];

③FMS 任务的不同组合对系统的可靠性影响很大, 而有关 FMS 任务可靠性的研究

却未开展；

④FMS 控制系统的可靠性（硬件可靠性、软件可靠性）是极其重要的，而很少有人研究它；

⑤FMS 可靠性仿真基本上是全过程仿真^[14,15]，该方法要求掌握较多的系统加工物理过程的信息，在有关信息较少的情况下却无法进行仿真。因此该方法具有很大的局限性，尤其不适合系统尚处于方案论证或设计阶段的情况。

4 FMS 多任务可靠性建模与分析

FMS 是集机械、电子、计算机、软件等技术于一体的复杂大系统，具有高度的柔性、先进性和复杂性，所以建造 FMS 需投入大量的人力、物力。若系统的可靠性不高，经常发生故障，将会明显降低系统的使用率，造成严重的经济损失；另一方面，FMS 以高柔性、高生产率为目标，具有高可靠性是系统达到其目标的先决条件，也是系统生存的必要条件。但是，目前我国 FMS 可靠性方面尚存在以下几个主要问题^[16]：

①在 FMS 的设计、制造和使用的各个阶段，应该相应配套进行的可靠性研究工作不健全，甚至尚未开展；

②系统的运控软件、电子元器件出现故障较多；

③系统中某些设备的备件不足；

④缺乏强有力的及时的故障诊断与定位手段；

⑤可靠性评价、考核、验收标准不太健全。

因此，为追踪世界高技术的发展，提高我国柔性制造系统的可靠性，迫切需要对这类系统的可靠性进行深入的研究，而 FMS 可靠性建模是深入研究 FMS 可靠性的关键和首要问题。围绕 FMS 多任务可靠性建模与分析已开展或可开展的研究工作为：

①针对 FMS 的多任务、具有多种柔性的特点，综合考虑 FMS 的结构、加工工件集和加工线路集三要素对系统可靠性的影响，可采用建立在图论、概率论及布尔代数基础上的网络分析法，直接针对加工线路建立 FMS 多任务可靠性分析模型^[17]；也可采用可靠性框图分析法建立 FMS 多任务可靠性框图模型，并在任务可靠性框图模型基础上，提出 FMS 致命故障间的任务时间（MTBCF）、恢复功能用的任务时间（MTTRF）和 FMS 任务可用度的定义及度量方法^[18]。

②针对 FMS 在完成任务过程中，系统或系统的某些单元发生了在不超过规定时间内修复且不影响任务完成的故障情况，给出了 FMS 任务成功性的定义、典型情况的任务成功度模型、系统的任务成功性模型以及 FMS 任务成功性综合预计模型^[19]。

③针对 FMS 在完成任务过程中可以降额使用的特点，提出生产率可用度模型及其度量方法，用以既考虑组成系统各单元的工作或故障对系统处于工作状态的影响，又考虑各工作状态之间的生产率差异对系统在规定时间内完成额定加工任务的影响^[20]。

④针对 FMS 控制系统的多任务特点，可提出 FMS 控制系统的多任务可靠性模型（软件、硬件），而且对作为硬件/软件联合体的 FMS 控制系统的多任务可靠性建模与分析也可进行探讨。

⑤提出基于实际生产过程的 FMS 多任务可靠性仿真方法。使用该仿真方法研究

FMS 可靠性既克服了解析法建模易造成的过于简单化、片面性,又免去了对真实系统进行全过程仿真的复杂性、艰巨性,具有广泛的应用和推广价值^[21];采用面向对象的思想及编程方法,建模仿真并研制了基于实际生产过程的 FMS 可靠性仿真的用户界面。使用该界面,用户只须从界面输入有关的可靠性参数及仿真运行条件,就可得到仿真结果。该界面为 FMS 可靠性仿真提供了一条从模型到仿真源程序方便转换的捷径,有助于仿真方法在 FMS 可靠性研究中的广泛应用^[4]。

参 考 文 献

- 1 邓子琼等. 柔性制造系统建模与仿真. 北京: 国防工业出版社, 1993, 5~31
- 2 古川勇二. 柔性制造系统: 制造系统的主导. 北京: 机械出版社, 1987, 13~69
- 3 Tetzlaff U A W. Optimal design of Flexible Manufacturing System. Physica-Verlag Heidelberg, 1990, 5~11
- 4 胡华平等. FMS 可靠性仿真研究及面向对象的仿真软件实现. 先进制造与材料应用技术, 1996, 1 (3): 18~23
- 5 Choong Y F, Gershin S B. A decomposition method for the approximate evaluation of capacitated transfer lines with unreliable machines and random processing times. IIE Trans. 1987, 19 (2): 150~159
- 6 Dalley Y, et al. An efficient algorithm for analysis of transfer lines with unreliable machines and finite buffers, IIE Trans. 1988, 20: 280~283
- 7 马之行等. 串联柔性制造系统的分析. 组合机床与自动化技术, 1985, (11): 2~11
- 8 疏松桂. 带有缓冲库的 CIMS 分析及其可靠性研究. 自动化学报, 1992, 18 (1): 15~22
- 9 Miriyala K, Viswanadham N. Reliability analysis of FMS. J. of FMS, 1989, 2: 145~162
- 10 Wang K S, Wan E H. Reliability consideration of a FMS from fuzzy information. J. of Quality and Reliability Management, 1993, 10 (7): 44~57
- 11 Yuanidis P, et al. Reliability modelling of FMS. Micro. Reliability, 1994, 34 (7): 1203~1220
- 12 Lulu M, Black J T. Effect of process reliability on integrated manufacturing/production systems. J. of Manufacturing System, 1986, 6: 15~22
- 13 Kuranov A R. Applied program for simulation modelling of FMS. Soviet Eng. Res. . 1990, 10 (5): 66~67
- 14 Young A R, Murray J. Performance and Evaluation of FMS
- 15 田雨华等译. FMS 可靠性指标的预测方法. 1991, CIMS 简报
- 16 温熙森等. 柔性制造系统的可靠性研究. 国防科技参考, 1992, 13 (2): 1~12
- 17 胡华平等. FMS 任务可靠性分析模型. 系统工程与电子技术, 1995, 17 (3): 69~75
- 18 胡华平等. FMS 任务可靠性框图模型的建立与分析. 国防科技大学报, 1995, 17 (2): 94~98
- 19 胡华平. 柔性制造系统多任务成功性模型. 系统工程与电子技术, 1996, 18 (6): 68~73
- 20 胡华平等. FMS 的生产率可用度. 系统工程, 1994, 12 (5): 31~34
- 21 胡华平. 基于实际生产过程用 SLAM 网络模型仿真评估 FMS 的可靠性. 系统工程与电子技术, 1994, 16 (7): 30~36

(责任编辑 张 静)