

# 计算机集成制造系统中的可靠性

北京航空航天大学 蔡开元 文传源 陈宗基  
**RELIABILITY ASPECTS IN COMPUTER INTEGRATED  
MANUFACTURING SYSTEMS**

*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*  
Cai Kaiyuan, Wen Chuanyuan and Chen Zongji

**关键词** CIMS, 飞行控制系统, 可靠性

**Abstract** Computer Integrated Manufacturing System (CIMS) has drawn much attention because of its market-driven flexibility, high productivity and great economic benefit. To deal with the reliability aspects of a CIMS, two issues concerning the modelling and measuring its reliability behavior as well as the assuring and enhancing its reliability must be considered. A brief introduction to a CIMS for Flight Control System (FCS) is made and twelve measures to assure the reliability of this FCS-CIMS are proposed. On the other hand, since a CIMS is generally degradable, the system cannot be simply determined as fully functioning or fully failed and thus fuzzy approach should be used to model the system reliability behavior. It is further argued that profust availability should be taken as the quantitative reliability index for the FCS-CIMS and how to do profust availability allocations is discussed.

**Key words** CIMS, flight control system, reliability

## 1. 引言

计算机集成制造 (CIM) 技术十分适合于小批量生产, 有助于提高产品质量和生产效率, 计算机集成制造系统 (CIMS) 就是采用 CIM 技术的生产系统, 它是在柔性制造技术、计算机技术、信息技术和系统科学的基础上将工厂生产经营活动所需的各种自动化系统有机地集成起来; 它能根据竞争市场的需求运用于多种中小批量产品生产, 获得高效率、高柔性的智能生产系统。

可靠性工程实践已经表明, 在系统设计中忽视可靠性将会带来严重的问题, 对于 CIMS, 主要考虑如何定量度量 CIMS 可靠性和如何保证 CIMS 可靠性, 以下讨论 FCS-CIMS 可靠性问题。

## 2. FCS-CIMS

图1示出 FCS-CIMS 的体系结构。各部分功能说明及术语定义见文献[1]。

## 3. FCS-CIMS 可靠性保证措施

为了提高和保证 CIMS 可靠性, 应采取如下措施

1990年4月13日收到, 1990年11月8日收到修改稿

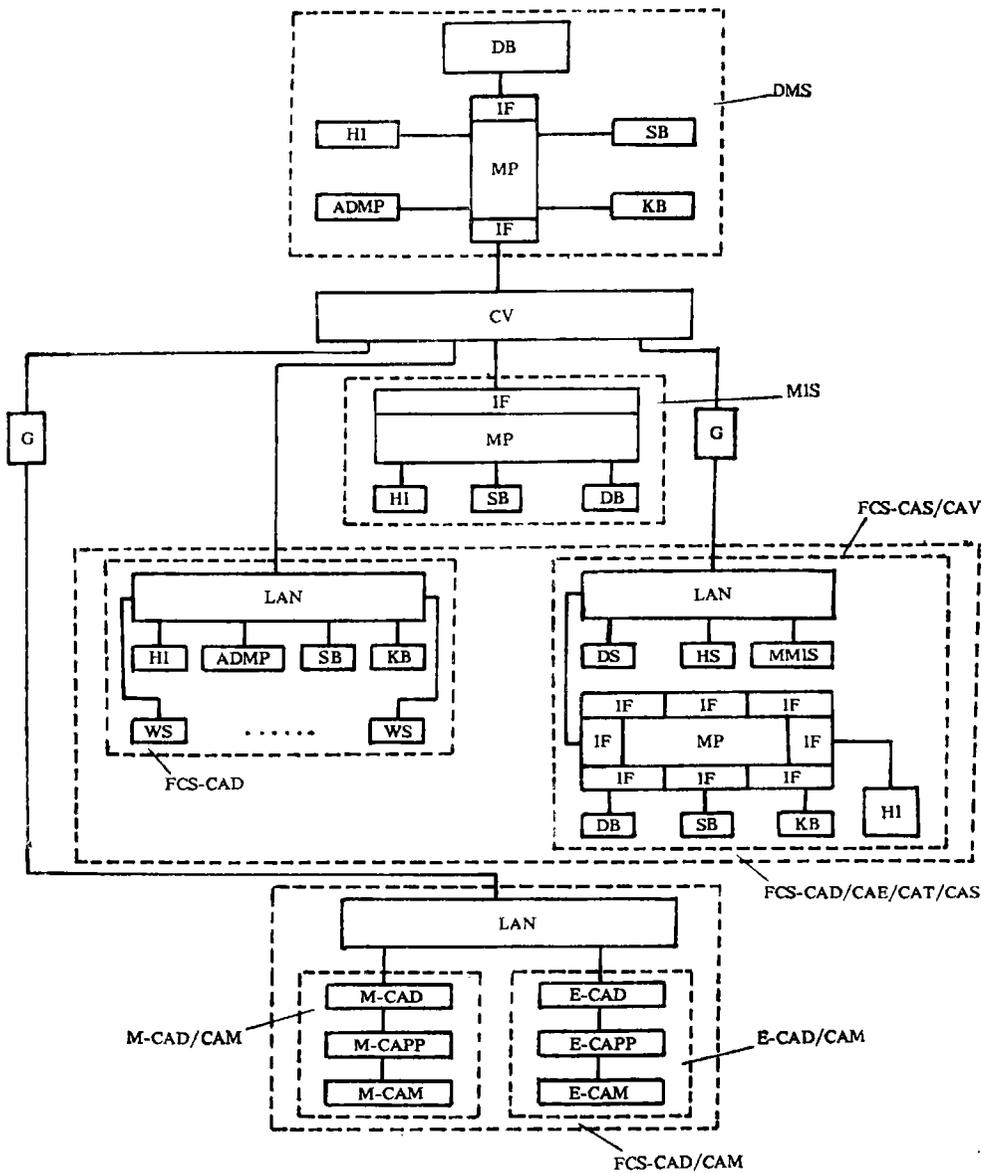


图 1 FCS-CIMS体系结构图

(1) 从硬件可靠性角度, CV, DMS, FCS-CAD, FCS-CAS/CAV, FCS-CAD/CAM和MIS应当以分布式联结, 但这会给软件可靠性带来很大负担。鉴于硬件可靠性技术成熟, 软件可靠性技术不成熟, 我们建议上述各模块以集中式联结, 如图1所示。这时 CV可视为一个中心工作站。

(2) 要求CV采用冗余技术和内部各模块的相互支持。

(3) CV与FCS-CAS/CAV之间, CV与FCS-CAD/CAM之间的联结非常重要, 需要采用冗余联结。

(4) 为了使得FCS-CAS/CAV可降级使用, DS, HS和MMIS应相互独立。

(5) 为了使得FCS-CAD/CAM可降级使用, 在M-CAD/CAM和E-CAD/CAM内部要采用递阶技术。

(6) 为了避免出现这么一种情况, 即某个模块故障导致其它模块无事可做, 例如DMS或CV故障使FCS-CAS/CAV不能做更多的工作, 各模块与人的接口应能接受人的指令使得该模块能独立于其它模块而正常工作。

(7) 为了减少人为错误, 要系统地培训操作人员和维修人员, 提高其素质, 使其胜任工作。

(8) 要对CIMS各部分进行系统、严格的故障模态和影响分析(FMEA/FMECA), 找出对系统影响最大的故障事件, 以采取防范措施。根据FCS-CIMS体系结构, 可以断言DMS, CV, MIS对系统有举足轻重的影响, 因此要对它们进行彻底、尽可能细致的FMEA/FMECA, 并采取相应措施以降低其故障发生的可能性且限制其影响。

(9) 要对重要的、尽可能多的故障进行故障树分析(FTA)。首先要对发生于DMS, CV和MIS之中的故障进行FTA之后找出减少或消除导致DMS, CV, MIS故障发生的各种因素的有效措施。

(10) 为了使得操作人员能有效地监测系统状态, 进行有关决策, 并为维修人员进行快速故障诊断提供充分的信息, 要在CIMS各个部分全面采用在线检测技术。尤为重要是对DMS, CV, MIS和三个LAN进行彻底的在线检测。

(11) 为了提高和保证CIMS可用度, 要对CIMS某些关键部件和易损坏的部件(CV和机床上的某些部件如刀具)实行预防维修。

(12) 为了保证CIMS制造产品的质量, 减少不合格产品, 以提高产品和CIMS可靠性, 要同时考虑产品设计和产品制造两个方面, 实行全面质量控制。

#### 4. Profust可用度分配

在可靠性工程领域, 有多种可靠性指标, 如可靠度、可用度、平均无故障时间(MTBF)、失效率等, 我们建议FCS-CIMS采用可用度这一指标, 理由如下

(1) CIMS故障形态多种多样, 且故障程度不同, 因而MTBF难以定义。

(2) CIMS是可修复系统, 注重综合效益, 需同时考虑可靠度和维修度两个方面。

(3) CIMS与大型电力系统有许多相似之处, 而可用度是电力系统可靠性的重要指标。

但是从可靠性角度来看, 常规的故障定义、可靠度、可用度不再适用于CIMS, 代之为Fuzzy故障、Fuzzy可靠度、Fuzzy可用度<sup>[1]</sup>。这里更准确称之为Profust可靠度、Profust可用度。Profust可靠度只是Fuzzy可靠度的一种形式, Profust可用度也只是Fuzzy可用度的一种形式。常规可靠性基于二态假设和概率假设, 而Profust可靠性基于模糊状态假设和概率假设<sup>[2]</sup>。

设系统有 $n$ 个非模糊状态 $S_1, \dots, S_n$ 。令 $U = \{S_1, \dots, S_n\}$ 是论域, 在此论域上定义Fuzzy成功状态为

$$S = \{S_i, \mu_s(S_i), i=1, \dots, n\} \quad (1)$$

Fuzzy故障状态为

$$F = \{S_i, \mu_f(S_i), i=1, \dots, n\} \quad (2)$$

这里 $\mu_S(S_i)$ 和 $\mu_F(S_i)$ 为相应的隶属函数,记 $U_T = \{m_{ij}, i, j = 1, \dots, n\}$ ,  $m_{ij}$ 表示从状态 $S_i$ 到状态 $S_j$ 的转移,定义

$$T_{SF} = \{m_{ij}, \mu_{T_{SF}}(m_{ij}), i, j = 1, \dots, n\} \quad (3)$$

这里

$$\mu_{T_{SF}}(m_{ij}) = \begin{cases} \beta_{F|S}(S_j) - \beta_{F|S}(S_i); & \text{如果 } \beta_{F|S}(S_j) - \beta_{F|S}(S_i) > 0 \\ 0 & \text{; 否则} \end{cases} \quad (4)$$

$$\beta_{F|S}(S_i) = \frac{\mu_F(S_i)}{\mu_F(S_i) + \mu_S(S_i)} \quad (5)$$

这样 $T_{SF}$ 表示从Fuzzy成功到Fuzzy故障的转移,并可视为一个Fuzzy事件<sup>[2,3]</sup>。Profust区间可靠度为

$$\begin{aligned} R(t_0, t_0 + t) &= P\{T_{SF} \text{ 在 } (t_0, t_0 + t) \text{ 内不发生}\} \\ &= 1 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \mu_{T_{SF}}(m_{ij}) \cdot P\{m_{ij} \text{ 在 } (t_0, t_0 + t) \text{ 内发生}\} \end{aligned} \quad (6)$$

这里 $m_{ij}$ 表示从状态 $S_i$ 到状态 $S_j$ 的转移且不经任何中间状态。假设

$$\mu_S(S_i) = 1 - \mu_F(S_i); \quad i = 1, \dots, n \quad (7)$$

则可证明<sup>[1-3]</sup>

$$R(t_0, t_0 + t) = E\mu_S^{(t_0+t)} \quad (8)$$

这里 $\mu_S^{(t_0+t)}$ 表示 $\mu_S$ 在 $(t_0 + t)$ 时刻的取值,是一个随机变量,而 $E$ 则表示数学期望。

Profust可用度定义为

$$\begin{aligned} A(t) &= P\{t \text{ 时刻系统处于Fuzzy成功状态}\} \\ &= \sum_{i=1}^n \mu_S(S_i) \cdot P\{t \text{ 时刻系统处于状态 } S_i\} \end{aligned} \quad (9)$$

将图1简化为图2,分别将DMS, CV, MIS, FCS-CAD, FCS-CAS/CAV, FCS-CAD/CAM编号为模块1,2,3,4,5,6。令 $X_i$ 表示第 $i$ 个模块的状态,且每个模块只有两个状态

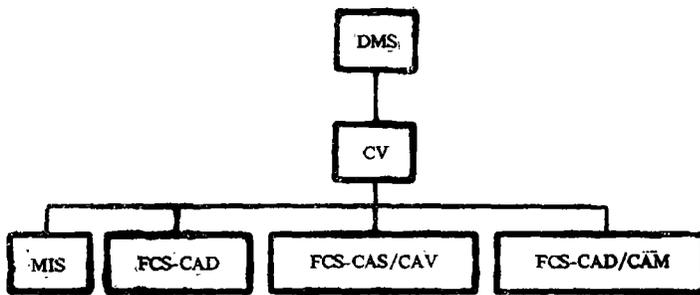


图 2 FCS-CIMS的可靠性结构图

$$X_i = \begin{cases} 1; & \text{如果第 } i \text{ 个模块工作正常} \\ 0; & \text{如果第 } i \text{ 个模块故障} \end{cases} \quad (10)$$

又令 $f_i$ 表示第 $i$ 个模块FCS-CIMS中的相对重要度,且

$$\sum_{i=1}^6 f_i = 1 \quad (11)$$

设

$$\mu_s(S_i) = \sum_{j=1}^6 f_j \cdot X_j \quad (12)$$

$$(X_1, \dots, X_6) \in S_i$$

那么由(9)式可得

$$A(t) = \sum_{i=1}^6 f_i \cdot A_i(t) \quad (13)$$

这里 $A_i(t)$ 表示 $t$ 时刻第 $i$ 个模块工作正常的概率。根据(13)式,可以对FCS-CIMS进行Profust可用度分配。显然,在系统中愈重要的部件应当愈可靠。因此Profust可用度分配的一种合理方法是根据模块的相对重要度确定模块的可用度。

举例说明。假设 $A = 0.90$ ,  $f_1 = f_2 = \frac{1}{4}$ ,  $f_3 = f_4 = f_5 = f_6 = \frac{1}{8}$ 。取 $A_1 = A_2 = 0.98$ ,

且 $A_3 = \dots = A_6$ 。那么由(13)式得

$$A_1 = A_2 = 0.98$$

$$A_3 = \dots = A_6 = 0.82$$

### 参 考 文 献

- 1 Cai K Y, Wen C Y, Chen Z J. A Preliminary Analysis of CIMS Reliability with Fuzzy Viewpoint. Proc. Beijing International Conference on System Simulation and Scientific Computing, 1989, 771~775
- 2 蔡开元. 模糊可靠性研究. 北京航空航天大学博士学位论文, 1990
- 3 Cai K Y, Wen C Y. Street-Lighting Lamps Replacement: A Fuzzy Viewpoint. Fuzzy Sets and Systems, 1990, 37: 161~172