

一类分布式系统的模块化诊断方法

吴旋, 颜文俊

(浙江大学 系统科学与工程学系, 浙江 杭州 310027)

摘要: 提出了一种针对一类大规模分布式系统的模块化诊断方法. 该方法基于离散事件动态系统的诊断理论, 其模块化特征不但使得诊断器的构造不用考虑整个系统的情况, 而且大大减少了系统构成的变化对已构建好的诊断器的影响.

关键词: 离散事件动态系统; 分布式系统; 故障诊断; 模块化诊断

中图分类号: TP271.8 **文献标识码:** A

Modular diagnosis of a class of distributed systems

WU Xuan, YAN Wen-jun

(Institute of Electrical Automation, Zhejiang University, Zhejiang Hangzhou 310027, China)

Abstract: A modular approach for diagnosis in large distributed systems was presented, which was based on the discrete-event dynamic systems. Because of modularity, the whole system did not need to be thought of when the diagnosers were constructed or used such that the changes of the components in the system had less effect on existing diagnosers.

Key words: discrete-event dynamic systems; distributed systems; diagnosis; modular diagnosis

1 前言 (Introduction)

基于离散事件动态系统的诊断方法已经运用于各类复杂系统的诊断中^[1~7], 而在各类复杂系统中, 最常见的就是分布式系统. 对于分布式系统的诊断问题引起了广泛的关注^[1, 4, 5].

本文将要研究的一类分布式系统具有下面两个方面特征:

1) 系统由许多组件构成, 且存在共享资源. 系统的各个组件由于需要访问共享资源, 所以会与其他组件发生相互作用.

2) 组件的数量和位置不是一成不变的, 增加和减少组件比较频繁.

很明显, 计算机和通信网络、制造业、过程控制、远程控制多机器人系统和电力系统等大规模分布式系统就具备上述特征.

由于上述特征, 如果采取传统的集中式诊断方法, 就得重构整个系统行为, 并构造整个系统的诊断器. 由于这类系统比较庞大和复杂, 整个构造过程费时费力; 而且每当加入或者去除一个组件时, 就得重新构建一切, 而且这种改变是经常的, 这极大地增加

了开销. 为了解决这个问题, 本文针对每个组件建立一个本地诊断器, 而不用考虑整个系统行为. 这样当增加或去除一个组件的时候, 和它无相互作用的组件的本地诊断器就不受任何影响. 这种模块化诊断的思想便能较好的解决上面提出的问题. 当然, 采用模块化诊断的前提是没有属于整个系统范围的故障需要诊断.

文[4]中采取了上述的模块化诊断思想来解决这类系统的诊断问题, 但它采用的方法有着下面的前提条件: 当系统中发生故障时, 会产生可见的告警, 且一个告警对应着几个不同的故障的发生. 但在现实中, 故障的发生不一定存在可见的告警, 所以文[4]中的方法在应用中存在着不足. 基于这种考虑, 本文在这种模块化诊断思想的基础上沿用了文[8]的诊断理论及诊断器构造方法, 提出了一种新的模块化诊断方法, 以适应上述情况.

2 预备知识 (Preliminaries)

2.1 模块化诊断 (Modular diagnosis)

本文所研究的分布式系统由 n 个组件构成, 每个组件 i 的行为都可以用自动机模型 $C_i = (X_i, \Sigma_i,$

δ_i, x_{i0}) 表示, $i = 1, 2, \dots, n$; 其中 X_i 表示状态集合, Σ_i 表示事件的集合, $\delta_i: \Sigma_i \times X_i \rightarrow 2^{X_i}$ 为转移函数, x_{i0} 表示初始状态. 假定一个组件无法观察到其他组件中发生的事件, 即

$$\Sigma_i \cap \Sigma_j = \phi \quad (i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ 且 } i \neq j).$$

在文[4]中, 故障是在状态中发生的, 用 $X_{if} (\subseteq X_i)$ 表示故障状态的集合. 报警可以表示成从故障状态出发的转移, 所以报警即 Σ_i 中一些事件.

组件的事件有两种类型:

$$\Sigma_i = \Sigma_{i,g} \cup \Sigma_{i,l}, \Sigma_{i,g} \cap \Sigma_{i,l} = \phi;$$

其中, $\Sigma_{i,g}$ 表示与访问共有资源有关的事件集合, 即全局事件, $\Sigma_{i,l}$ 则表示本地事件的集合. 全局事件是因为存取共享资源而发生的事件. 在这类系统中, 一个组件总是与其他组件发生相互作用. 本文用一个自动机模型来建模 k ($0 \leq k \leq n$) 个组件间的相互作用的行为, 而该自动机模型的事件集合等于这 k 个组件的全局事件集合的并. 为了使用模块化诊断的方法, 本文引入了一个全局行为的概念: 组件 i 的全局行为就是指将 C_i 和涉及组件 i 的所有相互作用的行为进行 $\parallel$ 运算得到的结果 ($\parallel$ 运算的定义可见文[9]). 下面以 $k = 2$ 的情况为例说明之:

当 $k = 2$ 时, 设组件 i 和 j 之间有相互作用, 其行为可以用自动机模型 $C_{ij} = (X_{ij}, \Sigma_{i,g} \cup \Sigma_{j,g}, \delta_{ij}, x_{0,ij})$ 表示, 其中 $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ 且 $i \neq j$, $X_{ij,f} (\subseteq X_{ij})$ 表示故障状态的集合. 如果组件 i 只与组件 j 有相互作用, 则组件 i 的全局行为等于 $C_i \parallel C_{ij}$.

要构造诊断器, 首先构造观测器. 本文用 $\text{obs}(C_i) = (Q, \Sigma_{i,o}, \delta_{\text{obs},i}, q_0)$ 表示 $C_i \parallel C_{ij}$ 的观测器, 其中 $\Sigma_{i,o}$ 是 Σ_i 中可观事件的集合, Q 中的状态形式为 $\{(x, x') \mid x \in X_i \text{ 且 } x' \in X_{ij}\}$.

这里诊断器的构造方法与文[8]有所不同, 故障标识的集合为 $\{Y, N\}$, N 表示状态正常, 而 Y 则表示有故障发生. 用 $\text{Diag}(C_i) = (D_i, \Sigma_{i,o}, \delta_{\text{diag},i}, d_0)$ 表示基于 $C_i \parallel C_{ij}$ 的诊断器. D_i 中每个状态 d 都对应与相应的观测器中的一个状态 q , 即

$$d = \{(x, x', 1) \mid ((x, x') \in q, l \in \{Y, N\})\}.$$

$\text{Diag}(C_i)$ 构造方法见文[4], 由于与本文关系不大, 在此省略.

2.2 故障诊断理论(Diagnosis theory)

文[4]中提供的诊断原理, 是在产生故障警报后根据诊断器当前的状态估计来判别发生故障的种类^[10], 所以是一种基于状态的方法. 而本文的诊断方法是基于事件的, 且采用了 Sampath 的诊断理

论^[8]. 下面简单介绍该理论:

在 Sampath 的诊断理论中, 被诊断系统用自动机四元组模型表示, 即 $G = (X, \Sigma_0, \delta, x_0)$. 系统中的事件存在可观事件和不可观事件的划分. 故障被看成事件, 设故障事件集为 Σ_f , 假定故障事件都是不可观的, 故障事件集通常根据不同的故障类型被分成几个互不相交的非空集合:

$$\Sigma_f = \Sigma_{f1} \cup \Sigma_{f2} \cup \dots \cup \Sigma_{fm}.$$

设用 Π_f 表示这种划分. 如果一个 F_i 类故障已经发生, 就意味着集合 Σ_{fi} 中的某个事件发生了.

对系统 G , 作如下假设:

- 1) 由 G 产生的语言 L 是有效的 (live). 即对所有 $s \in L$, 存在 $\sigma \in \Sigma$, 使得 $s\sigma \in L$;
- 2) G 中没有不可观事件的循环, 即 $\exists n_0 \in \mathbb{N}$, s.t. $(\forall ust \in L) s \in \Sigma_{\omega}^* \Rightarrow \|s\| < n_0$ ($\|s\|$ 表示串 s 的长度).

相应地, 设 L 为一语言, 用 ϵ 表示空串, 对任意 $s \in \Sigma^*$, $\bar{s}$ 表示 s 的闭集. 有关定义如下:

① $L/s = \{t \in \Sigma^* \mid st \in L\}$. L/s 是事件串的集合, 这些串的前面加上 s 后就是 L 中的事件串.

② $P_L^{-1}(y) = \{s \in L \mid P(s) = y\}$. 该事件串集合表示在 L 中与事件串 y 的可观映射相同的事件串的集合.

文[8]中的可诊断定义必须满足上面的两个假设条件, 而文[3]中则提出了一个更一般的可诊断定义 (定义 1), 使得假设 1) 可以不要:

定义 1 闭语言 L 关于可观映射 P 和在故障集合 Σ_f 上的划分 Π_f 是可诊断的, 如果满足下面条件:

$$\forall i \in \Pi_f, \exists n_i \in \mathbb{N}, \forall s \in \Psi(\Sigma_{fi}), \forall t \in L/s, \\ (\|t\| \leq n_i) \wedge (L/st = \phi \Rightarrow D_1) \wedge (\|t\| \geq n_i) \Rightarrow D_2,$$

其中

$$D_1: \omega \in P_L^{-1}(P(st)) \wedge (L/\omega = \phi) \Rightarrow \Sigma_{fi} \in \omega;$$

$$D_2: \omega \in P_L^{-1}(P(st)) \Rightarrow \Sigma_{fi} \in \omega.$$

Sampath 的诊断理论还包括了诊断器的构造方法, 这里不再介绍, 可参见文[8].

3 模块化诊断方法 (Modular diagnosis method)

如果分布式系统的故障事件是不可观的, 且故障发生后无法观测到报警, 那么文[4]中的模块化诊断方法就不能直接运用了. 为此本文对这种方法进行了如下的改进:

假设系统由 n 个组件构成, 系统的模型与第 2 节中介绍基本相同, 只是没有故障状态这个概念. 在

要处理的系统中,在每个组件 i 中,都有故障事件集 $\Sigma_{i,f} \subseteq \Sigma_i$,且故障事件都是不可观的,故障事件集根据不同的故障类型被分成 m 个互不相交的非空集合:

$$\Sigma_{i,f} = \Sigma_{i,f1} \cup \Sigma_{i,f2} \cup \cdots \cup \Sigma_{i,fm},$$

这种故障划分用 $\Pi_{i,f}$ 表示.假设故障事件必定属于系统中的一个组件,所以整个系统中所有故障事件集合

$$\Sigma_f = \Sigma_{1,f} \cup \Sigma_{2,f} \cup \cdots \cup \Sigma_{n,f}.$$

通过对每个组件的故障事件集合的划分,可以对整个系统的故障进行分类,这种划分用 Π_f 表示.在 Π_f 作用下,

$$\Sigma_f = \bigcup_i (\Sigma_{i,f1} \cup \Sigma_{i,f2} \cup \cdots \cup \Sigma_{i,fm_i}),$$

$$i = 1, 2, \cdots, n,$$

其中

$$\Sigma_{i,f} = \Sigma_{i,f1} \cup \Sigma_{i,f2} \cup \cdots \cup \Sigma_{i,fm_i}$$

是使用划分 $\Pi_{i,f}$ 的结果.

3.1 模块化诊断器的构造 (Construction of modular diagnoser)

考虑组件 i 的行为 $C_i = (X_i, \Sigma_i, \delta_i, x_{i0})$,并给定相应的可观事件集 $\Sigma_{i,o} \subseteq \Sigma_i$,故障事件集 $\Sigma_{i,f}, \Sigma_{i,f} \subseteq \Sigma_i - \Sigma_{i,o}$.用 G_i 来表示组件 i 的全局行为,由第2节中可知, G_i 的事件集

$$\Sigma_{ag,i} = \Sigma_i \cup \Sigma_{k_1,g} \cup \Sigma_{k_2,g} \cup \cdots \cup \Sigma_{k_p,g},$$

其中 $\{k_s\} (s = 1, 2, \cdots, p)$ 为与组件 i 有相互作用的组件的集合,而 $\Sigma_{k_s,g}$ 为组件 k_s 的全局事件集 ($s = 1, 2, \cdots, p$).这样,在可观映射 $P_{i,g}: \Sigma_{ag,i} \rightarrow \Sigma_{i,o}$,故障事件集 $\Sigma_{i,f}$ 及基于 $\Sigma_{i,f}$ 的故障分类 $\Pi_{i,f}$ 的条件下就可以构造针对 G_i 的诊断器 $\text{Diag}(G_i)$ (具体构造方法见文[8]).这样得到的诊断器 $\text{Diag}(G_i)$ 就是本文要构造的组件 i 的模块化诊断器.

为了说明上述构造模块化诊断器的思想,下面举例说明其构造过程:

例1 组件 i 的行为

$$C_i = (X_i, \Sigma_i, \delta_i, x_{i0}), \Sigma_{i,g} = \{a, b, c\},$$

$$\Sigma_{i,1} = \{\}, \Sigma_{i,o} = \Sigma_{i,f} = \Sigma_{i,f1} = \{b\}.$$

自动机模型见图1, $x_{i0} = 0$;与 i 相互作用组件为 j , $\Sigma_{j,g} = \{d, e\}$;相互作用的行为

$$C_{ij} = (X_{ij}, \Sigma_{i,g} \cup \Sigma_{j,g}, \delta_{ij}, x_{0,ij}),$$

自动机模型见图2, $x_{0,ij} = 0$,则组件 i 的全局行为 $G_i = C_i \parallel C_{ij}$,自动机模型见图3;由 G_i 生成组件 i 的模块化诊断器 $\text{Diag}(G_i)$,如图4所示.

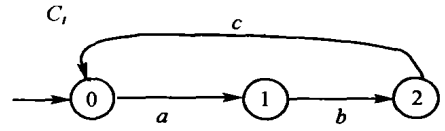


图1 组件 i
Fig. 1 The component i

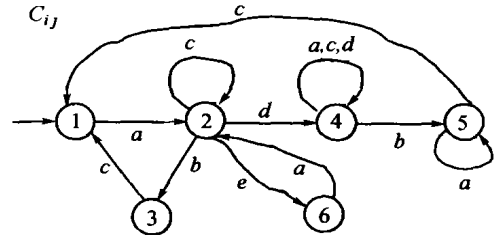


图2 组件 i 与组件 j 的相互作用行为
Fig. 2 The interaction between the component i and j

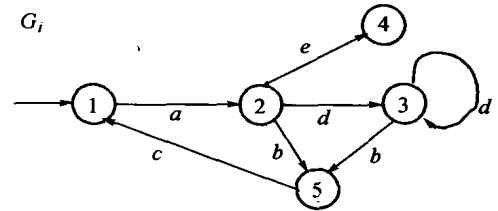


图3 组件 i 的全局行为
Fig. 3 The global behavior of the component i

$\text{Diag}(G_i)$

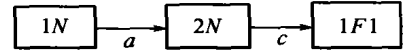


图4 组件 i 的模块化诊断器

Fig. 4 The modular diagnoser of the component i

3.2 诊断条件 (Conditions for diagnosability)

考虑到分布式系统的特点,本文根据文[8]中的讨论修改了文[3]中的一般性可诊断条件,重新定义如下:

定义2 闭语言 L 关于可观映射 P 和在故障集合 Σ_f 上的划分 Π_f 是可诊断的,如果满足下面条件:
 $\forall i \in \Pi_f, \exists n_i \in \mathbb{N}, \forall s \in \Psi(\Sigma_{fi}), \forall t \in L/s,$
 $(\|P(t)\| \leq n_i) \wedge (L/st = \phi \Rightarrow D_1) \wedge$
 $(\|t\| \geq n_i) \Rightarrow D_2,$

其中

$$D_1: (\omega \in P_L^{-1}(P(st)) \wedge (L/\omega = \phi) \Rightarrow \Sigma_{fi} \in \omega;$$

$$D_2: \omega \in P_L^{-1}(P(st)) \Rightarrow \Sigma_{fi} \in \omega.$$

在该定义中,被诊断系统不需要满足第2.2节中的两个假设条件.由于本文只要求在故障发生后,再发生有限个可观事件,即可探测出故障的发生;而根据文[3]和[8]中定义,要求在故障发生后,再发生

有限个事件,便可探测出故障.这种修改使得被诊断系统不用满足第2.2节中的假设条件2).例1中的模块化诊断器就符合定义2的诊断条件,所以是可诊断的.

根据定义1,可以得到不同于常规集中式系统诊断条件的分布式系统模块化诊断条件:

定理1 对于上面所讨论的分布式系统,如果故障必定属于其中一个组件,且每个组件 i 的全局行为 G_i 都满足定义2中的诊断条件,则通过模块化诊断器所得到的诊断信息不少于在基于故障集合 Σ_f 的分类 Π_f 下,对系统 G 进行集中式诊断所得到的信息.

证 对系统 $G, G_i = \parallel G_i (i = 1, 2, \dots, n)$, 定义映射 $P_i: \Sigma \rightarrow \Sigma_{ag,i}$, 其中 $\Sigma = \bigcup_i \Sigma_i (i = 1, 2, \dots, n)$. 设 G 中任意一个含故障的事件序列 $s \in L(G)$, 则对应于每个组件 $i, P_i(s) \in L(G_i)$. 而 s 中每个故障必属于一个组件的事件集. 取 s 中任一故障 σ , 不失一般性, 设 $\sigma \in \Sigma_{i,tk} \subseteq \Sigma_{i,f} \subseteq \Sigma_i$. 根据定理1的条件, G_i 是可诊断的, 则模块化诊断器 $\text{Diag}(G_i)$ 根据 $P_{i,g}(P_i(s))$ 便可以诊断出 $P_i(s)$ 中发生了 $\Sigma_{i,tk}$ 类故障. 而因为 $\Sigma_i \cap \Sigma_j = \emptyset (j \neq i \text{ 且 } j = 1, 2, \dots, n)$, 所以 $\sigma \notin \Sigma_j (j \neq i \text{ 且 } j = 1, 2, \dots, n)$. 综上所述, 系统 G 中不管发生了哪类故障, 都有相应组件的模块化诊断器诊断出故障的发生, 而其他组件的故障诊断器对不属于自己事件集合的故障不予检测. 所以在定理1的条件下, 所有组件的模块化诊断器一起作用便能诊断出所有的故障类型, 即能诊断出 Π_f 中的每一类故障. 由此可见模块化诊断器所能得到的诊断信息不少于对系统进行集中式诊断的情况.

证毕.

3.3 在线诊断(On-line diagnosis)

对于一个上述的分布式系统, 在每个组件上配备一个模块化诊断器, 以分别诊断各个组件; 同时还给整个系统配备了一个收集器, 它负责收集各个组件的模块化诊断器所得到的诊断信息. 图5给出了在线诊断的原理图. 不失一般性, 图中 G 由3个组件构成, 且只考虑只有两个组件相互作用的情况, 其中 $G_1 = C_1 \parallel C_{12} \parallel C_{13}, G_2 = C_2 \parallel C_{12} \parallel C_{23}, G_3 = C_3 \parallel C_{13} \parallel C_{23}$. 在分布式系统中, 每个模块化诊断器从初始状态开始就与组件同步运行. 在满足定理1的情况下, 系统任何一个模块发生了故障, 便按照下面的过程进行诊断和处理:

1) 相应的诊断器在有限个可观事件发生后, 由

诊断器中的相应状态上附加的故障信息判断出故障发生及故障类别, 其诊断方法见文[8].

2) 诊断器诊断后, 将诊断信息和发生故障的组件代号发给收集器.

3) 收集器接收到发自诊断器的诊断信息后, 判别出故障发生的模块、故障类别; 有关人员根据这些信息采取相应的措施排除故障.

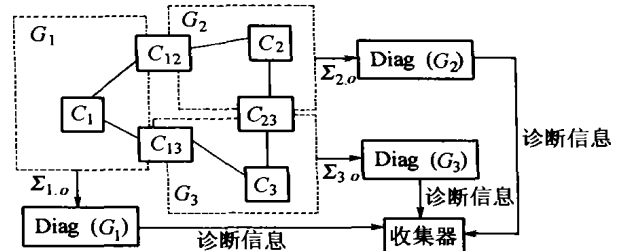


图5 分布式系统的模块化诊断原理图
Fig. 5 Schematic diagram of modular diagnosis for distributed systems

4 结论(Conclusions)

针对网状结构的分布式系统, 本文提出了一种模块化诊断方法来解决其诊断问题. 该方法为每个组件构造诊断器, 即模块化诊断器. 每个模块化诊断器独立进行诊断, 独立提供诊断信息. 这种分而治之的方法很适应这类系统的分布式和结构变化大的特点, 能很好地完成诊断任务. 此外, 这些模块化诊断器的构造工作可以同时进行, 这就大大减少了开销.

当然, 要使该方法能有效进行诊断, 需满足一定的条件: 1) 组件之间无共同的事件; 2) 不存在整个系统范围的故障事件; 3) 每个组件的全局行为都是可诊断的. 对于前两个条件, 可以在建模的时候尽量满足. 而第三个条件可以通过改进诊断方法, 即将文[3]中的活跃诊断引入到分布式系统的诊断中来实现. 这种活跃诊断的思想已经用于信息分散系统的故障诊断中了^[7], 至于它在分布式系统诊断中的应用, 还有待进一步的研究.

参考文献(References):

- [1] BARONI P, LAMPERTI G, ZANELLA M. Diagnosis of a class of distributed discrete-event systems [J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 2000, 30(6): 731 - 752.
- [2] DEBOUK R, LAFORTUNE S, TENEKEZIS D. Coordinated decentralized protocols for failure diagnosis of discrete event systems [J]. *J of Discrete Event Dynamic Systems*, 2000, 10(1,2): 33 - 86.

(下转第528页)

电子学报, 2000, 28(1): 45 - 47.

(WANG Hui, ZHANG Jihong. Fuzzy contrast enhancement algorithms for image edge detection [J]. *J of Electronics*, 2000, 28(1): 45 - 47.)

- [4] CHENG H D, CHEN Yenhung, SUN Ying. A novel fuzzy entropy approach to image enhancement and thresholding [J]. *Signal Processing*, 1999, 75(2): 277 - 301.
- [5] MOAYERI N, KONSTANTINIDES K. *Blind restoration of blurred and noisy images* [R]. [s.l.]: Hewlett-Packard Laboratories, 1996.
- [6] PAJUNEN P. Blind separation of binary sources with less sensors than sources [A]. *Proc of 1997 Int Conf on Neural Networks* [C]. Houston, Texas: [s.n.], 1997.
- [7] PUNTONET C, PRIETO A, JUTTEN C, et al. A geometry-based procedure for reconstruction of n -value signals [J]. *Signal Processing*, 1995, 46(2): 267 - 284.
- [8] LI Yuanqing, WANG J, ZURADA J M. Blind extraction of singularly mixed source signals [J]. *IEEE Trans on Neural Networks*,

2000, 11(6): 1413 - 1422.

作者简介:

李远清 (1966 —), 男, 1988 年武汉大学数学系本科毕业, 1992 年华南师范大学数学系硕士毕业, 1997 年华南理工大学电子信息学院博士毕业, 华南理工大学自动化科学与工程学院副教授, 硕士生导师, 目前正在日本脑科学研究所高级脑信号处理试验室从事合作研究, 主要研究领域: 滞后广义系统, 神经网络, 信号盲处理, 视觉计算. E-mail: liyuan@bsp.brain.riken.go.jp;

张丽清 (1961 —), 男, 1983 年杭州大学数学系毕业, 获理学学士学位, 1988 年中山大学计算机科学系毕业, 获理学博士学位, 1988 ~ 1997 年在华南理工大学自动化科学与工程学院任讲师、副教授、教授, 1996 年, 被批准为控制理论与控制工程学科的博士生导师, 1997 ~ 2002 年在日本脑科学综合研究中心任研究员, 现为上海交通大学计算机科学与工程系教授, 主要研究领域: 大脑学习与记忆理论, 集成计算认知, 计算视觉, 机器学习.

(上接第 524 页)

- [3] SAMPATH M, LAFORTUNE S, TENEKETZIS D. Active diagnosis of discrete event systems [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1998, 43(7): 908 - 929.
- [4] RICKER S L, FABRE E. On the construction of modular observers and diagnosers for discrete-event systems [A]. *Proc of 39th Conf Decision and Control* [C]. Sydney: IEEE Control Systems Society, 2000: 2240 - 2244.
- [5] FABRE E, AGHASARYAN A, BENVENISTE A, et al. Fault detection and diagnosis in distributed systems: an approach by partially stochastic petri nets [J]. *J of Discrete Event Dynamic Systems*, 1998, 8(2): 203 - 231.
- [6] LIN F. Diagnosibility of discrete-event systems and its applications [J]. *J of Discrete Event Dynamic Systems*, 1994, 4(2): 197 - 212.
- [7] 吴旋. 基于离散事件动态系统的故障诊断理论的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
(WU Xuan. *Research on fault diagnosis of discrete event dynamic systems* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2002.)
- [8] SAMPATH M, SENGUPTA R, LAFORTUNE S, et al. Diagnosibility of discrete event systems [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1995, 40(9): 1555 - 1575.
- [9] RAMADGE P J, WOHAM W M. Supervisory control of a class of discrete event processes [J]. *SIAM J of Control Optimal*, 1987, 25

(1): 206 - 230.

- [10] FABRE E, BENVENISTE A, JARD C, et al. Distributed state reconstruction for discrete-event systems [A]. *Proc of 39th Conf Decision and Control* [C]. Sydney: IEEE Control Systems Society, 2000: 2252 - 2257.
- [11] CIESLAK R, DESCLAUX C, FAWAZ A S, et al. Supervisory control of discrete-event process with partial observations [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1988, 33(3): 249 - 259.

作者简介:

吴旋 (1977 —), 男, 1999 年毕业于厦门大学计算机系, 2002 年毕业于浙江大学控制科学与工程学系控制理论与控制工程专业, 获硕士学位, 2002 年开始工作于福建实达电脑设备有限公司. 攻读研究生期间研究方向: 离散事件动态系统及其故障诊断理论的研究. E-mail: wuxuan@start.com.cn;

颜文俊 (1965 —), 男, 1994 年在浙江大学工业控制技术研究所取得博士学位, 1996 年在浙江大学从事博士后工作, 2001 年 ~ 2002 年作为访问学者在英国 Cranfield 大学从事研究. 现为浙江大学系统科学与工程系副主任, 副教授. 主要研究方向: 复杂系统的多目标优化与控制, 离散事件系统的监控理论, 各类控制系统的工业应用等. E-mail: yanwenjun@zju.edu.cn.