

测试性分析中基于模糊聚类的系统划分方法研究

王红霞,叶晓慧,刘双双

(海军工程大学,湖北 武汉 430033)

摘 要: 针对测试性分析阶段系统划分问题,提出了一种对系统 LRU 划分的模糊聚类法.首先,建立系统结构和系统功能属性之间的映射关系;然后,利用逻辑矩阵中元件与元件之间的相似性进行聚类.聚类结果使得划分类内的 LRU 对某一功能属性的失常有决定作用,并且每一功能的测试诊断策略都能引导维修人员快速定位故障.理论分析和仿真结果表明,该方法实现简单,可以有效划分待诊断系统,具有良好的实际应用效果.

关键词: 模糊聚类;系统划分;测试性分析

中图分类号: N945

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)07-0177-04

System Partition Based on the Fuzzy Clustering in the System Testability Analysis

WANG Hong-xia, YE Xiao-hui, LIU Shuang-shuang

(Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: To deal with the system partition during the phase of testability analysis, this paper presents a fuzzy clustering method for system LRU partition. First the mapping relationship is established between the system structures and system functions attributes; then the components are clustered by the similarity between the components in the logical matrix. The result of clustering by this method makes the LRU in the classes have a crucial role in malfunction of some functions attributes, what is more, each test strategy of sub-function could lead the repairmen locate the fault LRU quickly. From the theoretical analysis and experimental results, the conclusion can be drawn that this method could partition the system under diagnosis conveniently. Further more, the plentiful application has been found in engineering practice.

Key words: fuzzy clustering; system partition; testability analysis

1 引言

系统测试性分析的目的是为了获得系统的固有测试属性,比如在 BIT 的情况下,计算系统的检测率、隔离率、模糊组大小和不可测试的元件清单等,同时也能给出系统测试性的改进建议和诊断策略等.目前进行测试性分析的主要方法是信息流模型,在建模以前首先根据相关资料分析系统功能流图和子功能信号流图.

为了减少系统元件的平均测试步骤,在建立信号流图以前要对系统进行划分.冯永新^[1]和张文明^[2]等提出了系统划分的强连通法,该方法的划分原则是将相互间存在双向故障传播的模块归入同一

LRU(Line Replace Unit),但当系统中各模块均存在双向故障传播时,该方法无法进行系统划分.针对此问题,黎琼炜^[3]、魏忠林^[4]提出了基于模糊有向图的系统划分方法;王栋等^[5]采用多重模糊有向图表示系统模块间的故障传播关系,将同一模块上的固有故障传播和传递得到的故障分开分析,建立更加接近实际的故障传播影响度矩阵,实现系统的划分.但是这些方法都是用于系统的测试性设计,实现系统 LRU 之间的物理划分.

文中针对测试性分析阶段系统结构划分与系统功能属性划分之间的对应关系,在信息流的基础上,提出了基于模糊聚类的方法实现对系统 LRU 的划分,目的是实现划分类内的 LRU 对某一功能属性

的失常有决定作用,结果使得每一功能的测试诊断策略能快速引导维修人员定位故障。

2 问题描述

在准备系统测试性分析过程中,必须熟悉相关的技术数据,包括系统功能描述(包括结构和功能、信号流)、系统测试性要求、系统图/原理图(内部连线图、流程图)、FMECA(故障模式描述、LRU 故障率、故障检测方法、故障模式比)和测试权衡等^[6]。

在进行测试性分析时,首先要确定(待分析)系统的层次结构,即对系统进行结构分解,分解原则是子系统任务目标明确,并且使子任务之间的耦合尽量少,从而简化子任务诊断时对共用元件的相互调用。一般来说,在粗粒度上,多采用结构分解,在细粒度上多采用功能分解,文中主要目的是建立结构分解与功能分解之间的映射,在此基础上对结构分解的底层 LRU 进行划分,如图 1 所示。

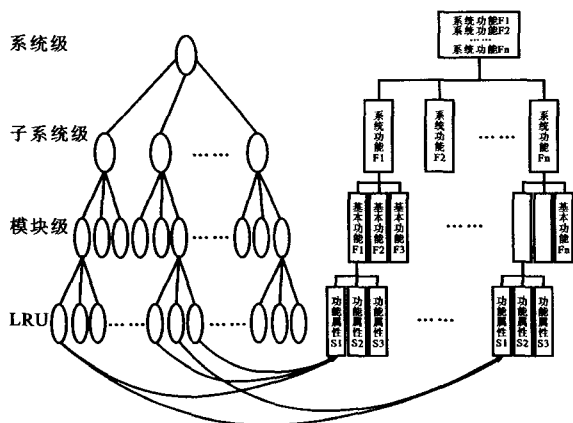


图1 系统的结构划分、功能划分及映射关系

系统划分是测试性分析的一个关键步骤。系统划分的依据是系统的功能描述,把对某一功能属性有影响的 LRU 划分为一个类,以达到利用功能属性索引测试性分析时,能产生有效的故障诊断策略,有效减少划分类 LRU 的测试隔离步骤。

按照测试诊断以最小的期望费用(时间、费用、测试步骤)达到快速定位故障的目的,系统划分时应考虑以下原则:

(1) 相关性原则:要求一个划分类内部 LRU 与某功能属性紧密相关;

(2) 可分离性原则:要求一个 LRU 尽量只与一个功能属性紧密相关,如果与两个或两个以上功能属性紧密相关,则把此 LRU 分为几个虚拟的 LRU 或者把 LRU 向下层分解为多个 SRU;

(3) 整体性原则:要求每个划分类能容易地与其他划分类一起实现子功能或系统功能;

(4) 可理解性原则:要以一些划分类能实现系统的主信息流功能,另一些划分类辅助实现,使得划分类的大小适度,测试隔离相对简单,便于理解。

定义1 系统包含的所有 LRU:

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_m\}$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

定义2 元件所实现的系统功能的属性集:

$$FA = \{fa_1, fa_2, \dots, fa_j, \dots, fa_n\}$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

定义3 定义A为C到FA上的全域关系,即 $A = C \times FA$,论域U为逻辑域,定义函数关系 $f: A \rightarrow U$,表示第i个元件 c_i 对第j个属性 fa_j 的取值,令

$$a_{ij} = f(c_i, fa_j)$$

其中, $a_{ij} \in \{0, 1\}$, 0表示元件 c_i 对属性 fa_j 没有贡献,从故障诊断的角度描述,就是,元件 c_i 发生故障时,功能属性 fa_j 不受影响,即正常;1表示元件 c_i 对属性 fa_j 有贡献,当元件 c_i 发生故障时,功能属性 fa_j 受影响,即不正常;

则元件集C在属性FA上的逻辑矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

定义4 设X是以给定集合, $X_1, X_2, \dots, X_p$ 是它的子集,如果满足^[7]:

$$X_i \cap X_j = \emptyset, \forall i, j = 1, 2, \dots, p, i \neq j$$

$$X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_p = X$$

则集合 $Q = \{X_1, X_2, \dots, X_p\}$ 被称为集合X的一个划分,而 $X_1, X_2, \dots, X_p$ 被叫做这个划分的块。

定义5 设R是集合X上的等价关系,对于任意一个元素 $x_i \in X$,可以构造一个X的子集 $[x_i]_R$,叫做 x_i 对于R的等价类, $[x_i] = \{x_j \mid x_i \in X, \text{且 } x_i R x_j\}$ ^[7]。

对于这种集合,它具有下列性质:

$$(1) x_i \in [x_i]_R;$$

$$(2) \text{如果 } x_j \in [x_i]_R, \text{则必有 } [x_j]_R = [x_i]_R;$$

$$(3) \text{若 } x_j \in [x_j]_R, \text{但 } x_j \notin [x_i]_R, \text{则必有 } [x_j]_R \cap [x_i]_R = \emptyset.$$

基于上面的分析,实际上就是要求X,下面介绍求解X的过程。

3 基于模糊聚类的系统划分

采用模糊数学语言对事物按一定的要求进行描述和分类的数学方法称为模糊聚类分析,模糊聚类分析一般是根据研究对象本身的属性来构造模糊矩阵,并在基础上根据一定的隶属度来确定聚类关系,即用模糊数学的方法把样本之间的模糊关系量化的确定,从而客观进行聚类.

系统划分步骤:

(1) 建立元件与功能属性的逻辑矩阵;对于实际设备测试性分析,系统划分首先要考虑影响比较多的功能属性的元件,如果以这些元件为中心进行聚类会取得更好的效果.

(2) 计算各个元件之间的相似性,计算相似性的方法有如下几种:夹角余弦法、数量积法、相关系数法、指数相似系数法、最大最小法等.文中采用汉明距离法,在信息论中,汉明距离是描述两个 N 长码字 $p = (p_1 p_2 \cdots p_k \cdots p_N), q = (q_1 q_2 \cdots q_k \cdots q_N)$ 之间的距离, $D(p, q) = \sum_{k=1}^N p_k \oplus q_k$, 其中 $\oplus$ 表示模 2 加运算, $p_k \in \{0, 1\}, q_k \in \{0, 1\}$.

$$\text{Sim}(c_i, c_j) = 1 - \alpha (\sum_{k=1}^n a_{ik} \oplus a_{jk}) / n$$

α 是用户根据实际情况定义的参数.

用上述公式刻画功能矩阵中元件与元件之间的相似度是合理的,它的计算介于 0 与 1 之间.当两个元件对于各功能属性的影响完全相似时, Sim 的值越接近于 1,当两个元件对于各功能属性的影响完全不相似时, Sim 的值越接近于 0.

(3) 建立分类对象集合的模糊相似关系 $\tilde{R}_s$.

(4) 计算相似性关系 $\tilde{R}_s$ 的传递闭包,做合成运算,存在一个自然数 β ,使得 $\tilde{R}^{2\beta+1} = \tilde{R}^{2\beta}$,则 $\tilde{R}_s^{2\beta}$ 是一个模糊等价关系.

(5) 选定参数 λ ,进行聚类.

4 实例验证

示例:电路由一级放大电路(R1、R2、R3 与 A1)、低通滤波电路(R4 与 C1)和二级跟随放大电路(A2)三个子电路组成.如图 2 所示.

通过电路功能原理分析,影响放大电路完好的功能属性主要有:S1-放大增益、S2-信号线性、S3-低通截止频率、S4-信号失真和 S5-放大器直流偏移五个指标.对电路来说,任何一个参数出现问题,电路都属于不正常(即故障).而且,如果 R1 ||

R2≠R3,则出现直流偏移,即 R1、R2 与 R3 状态影响参数 S5;同样,R4 和 C1 状态影响参数 S3; R2/R1 和 A1 状态影响参数 S1 等.

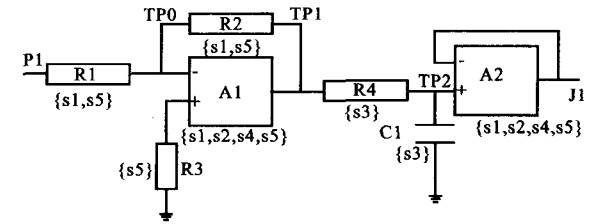


图 2 二级放大电路

基于模糊聚类的系统划分方法的实现步骤:

步骤 1:元件集为 $C = \{R1, R2, R3, R4, C1, A1, A2\}$,功能属性集为 $FA = \{S1, S2, S3, S4, S5\}$;根据定义 3 可建立如下的逻辑矩阵:

	S1	S2	S3	S4	S5
R1	1	0	0	0	1
R2	1	0	0	0	1
R3	0	0	0	0	1
R4	0	0	1	0	0
C1	0	0	1	0	0
A1	1	1	0	1	1
A2	1	1	0	1	1

步骤 2:求模糊相似矩阵,取 $\alpha = 0.9$,按汉明距离计算得到相似矩阵:

1.00	1.00	0.82	0.46	0.46	0.64	0.64
1.00	1.00	0.82	0.46	0.46	0.64	0.64
0.82	0.82	1.00	0.64	0.64	0.46	0.46
0.46	0.46	0.64	1.00	1.00	0.10	0.10
0.46	0.46	0.64	1.00	1.00	0.10	0.10
0.64	0.64	0.46	0.10	0.10	1.00	1.00
0.64	0.64	0.46	0.10	0.10	1.00	1.00

步骤 3:经计算得到传递闭包:

1.00	1.00	0.82	0.64	0.64	0.64	0.64
1.00	1.00	0.82	0.64	0.64	0.64	0.64
0.82	0.82	1.00	0.64	0.64	0.64	0.64
0.64	0.64	0.64	1.00	1.00	0.46	0.46
0.64	0.64	0.64	1.00	1.00	0.46	0.46
0.64	0.64	0.64	0.46	0.46	1.00	1.00
0.64	0.64	0.64	0.46	0.46	1.00	1.00

对于例子中的逻辑矩阵 A,能直观地看出,R1 与 R2、R4 与 C1、A1 与 A2 分别相同,因此可以把 {R1,R2}、{R4,C1}、{A1,A2} 划分为一个类,但是对于 R3 如何划分是做不出判断的.

步骤 4: 选取 λ , 计算 λ 截矩阵: $\lambda=0.8$ 时截矩阵为:

1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00

所以此例子的划分类为: $\{R1, R2, R3\}$ 、 $\{R4, C1\}$ 、 $\{A1, A2\}$.

λ 参数的选取直接影响测试诊断的费用步骤, 因此要依据实际设备情况, 适当调整 λ 参数的取值, 使得划分类能适应测试诊断需求.

5 结束语

文中提出了基于模糊聚类的系统划分方法, 该方法实现简单, 仿真结果证明该方法确实有效, 并已应用实际设备的测试性分析, 取得了良好的效果. 它可以方便地划分待测试诊断分析的系统, 是后续阶段的测试点优选等的基础.

本方法 λ 参数的选取直接影响系统划分的结构, 如何应用动态聚类^[8]到系统划分中, 是以后在理论及工程上继续研究的问题.

参考文献:

- [1] 冯永新. 基于模型的故障诊断技术研究及其在航天器中的应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1996.
- [2] 张文明. 基于有向图的定性模型分解方法[J]. 计算机研究与发展, 1998, 35(8): 709-713.
- [3] 黎琼炜. 系统级 BIT 设计中基于模糊有向图系统划分[J]. 电子测量技术, 2001, 23(2): 51-54.
- [4] 魏忠林, 李天刚, 刘于瑞. 电子设备测试性设计及系统划分的研究[J]. 科学技术与工程, 2005, 23(5): 1800-1803.
- [5] 王栋, 陈圣俭, 李龄. 一种基于多重模糊有向图的系统划分方法[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(1): 89-92.
- [6] 曾天翔. 电子设备测试性及诊断技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 1995.
- [7] 高新波. 模糊聚类分析及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
- [8] 蒋荣华, 王厚军, 兵龙. 基于离散粒子群算法的测试选择[J]. 电子测量与仪器学报, 2008, 22(2): 11-15.

作者简介:

王红霞 博士研究生. 研究方向为系统测试性分析、故障诊断.

叶晓慧 教授. 研究方向为故障诊断与虚拟仪器技术和系统测试性分析.

刘双双 硕士研究生. 研究方向为系统测试性设计、故障诊断.

(上接第 176 页)

5 结束语

文中使用改进的 Trie 树组织词典, 结合正向最大匹配, 提出了一种应用于 GIS 领域的中文分词算法. 该算法是在传统 Trie 树的基础上提出用一个结点来存储种概念, 从而降低了树的高度, 降低了复杂度. 该算法不用预知待查询词的长度, 一次查询即可达到最大匹配, 在运行效率和结果的准确性方面有了很大的提高. 文中对一些特定组合歧义的处理和识别没有做出精确的分析, 还需要进一步深入地进行研究.

参考文献:

- [1] 张辉, 武亚红, 黄润才. 基于规则和统计的汉语多输出切分系统[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(7): 56-57.

- [2] 丁振国, 张卓. 基于 Hash 结构的逆向最大匹配分词算法的改进[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(12): 3208-3209.
- [3] 严蔚敏, 吴伟民. 数据结构[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 251-263.
- [4] 郭辉, 苏中义, 王文, 等. 一种改进的 MM 分词算法[J]. 微型电脑应用, 2002, 18(1): 13-15.
- [5] 熊文新, 宋柔. 信息检索用户查询语句的停用词过滤[J]. 计算机工程, 2007, 33(6): 195-197.
- [6] 李庆虎, 陈玉健, 孙家广. 一种中文分词词典新机制—双字哈希机制[J]. 中文信息学报, 2002, 17(4): 3-18.

作者简介:

杨晓军 男, (1984-), 硕士研究生. 研究方向为智能搜索引擎和 J2EE 软件架构.

王一莉 女, (1964-), 副教授. 研究方向为搜索引擎和 J2EE 软件架构.