

基于Visio控件多信号模型分层建模方法

龙兵, 高旭, 刘震, 王厚军

(电子科技大学自动化工程学院 成都 611731)

【摘要】提出了一种基于Visio绘图控件解决多信号模型分层图形化建模问题的新方法。结合实例阐述了多信号模型的建模和分析方法,提出了一种故障-测试依赖矩阵的生成新算法,以此为基础开发了图形化系统可测性建模与分析软件平台,并将其应用在某雷达发射机可测性建模中。理论分析与仿真实验表明,该方法简单高效,对系统可测性建模与分析具有很好的实用价值。

关键词 依赖矩阵; 图形化建模; 分层建模; 多信号模型; Visio控件

中图分类号 TM93

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2012.02.017

Hierarchical Modeling Method for Multi-Signal Model Based on Visio Control Component

LONG Bing, GAO Xu, LIU Zhen, and WANG Hou-jun

(School of Automation Engineering, University of Electronics & Science Technology of China Chengdu 611731)

Abstract A new method based on Visio drawing control component is proposed to solve hierarchical modeling problems for multi-signal models. An example is used to illustrate the modeling and analysis methods of multi-signal model. Then a new algorithm to generate the dependency matrix of faults and tests is proposed. Based on this method, a graphical system testability modeling and analysis software is developed and applied in a radar transmitter. The theoretical analysis and experiment results show this method is simple, efficiency and is valuable for system testability analysis and modeling.

Key words dependency matrix; graphical modeling; hierarchical modeling; multi-signal model; Visio control component

可测性分析是指对一个初步设计好的电子系统不进行故障模拟就能定量地估计出其测试难易程度的一类方法^[1]。现有的可测性模型分析方法主要以信息流依赖模型和多信号模型应用最为广泛。信息流模型^[2]采用一种单信号依赖关系,模型容易与实际系统结构相偏离,尤其不适用于大型复杂系统。美国QSI公司利用多信号模型开发的系统级可测性分析与设计及故障诊断软件(TEAMS)取得了广泛的应用^[3-4]。文献[4-6]对基于多信号模型的系统可测性分析与故障诊断的内容和方法进行了研究。文献[7]提出使用矩阵逐层向上合并的方法来得到系统的依赖矩阵。该方法必须已知最底层子模块的邻接矩阵,当子模块间的连接关系很复杂时公共节点较多,不易于编程实现矩阵合并,并且矩阵合并必须从最底层开始直到顶层,不能实现如TEAMS中选定模块标

签后进行动态可测性分析。如何用图形化来基于多信号模型分层建模是一个待解决的问题。本文以TEMAS^[8]及其使用说明作为参照,以多信号模型的测试性分析方法为基础,Microsoft Visio为平台,VC++6.0为编译工具开发了一个可进行分层建模的图形化软件平台系统,并提出了一种求取依赖矩阵的新颖方法且用实例进行了具体的分析。

1 多信号模型

多信号模型^[9]是在系统结构和功能分析的基础上,以分层有向图表示信号流导向和各组成单元(故障模式)的构成及相互连接关系,并通过定义信号(功能)以及组成单元(故障模式)、测试与信号之间的关联性,来表征系统组成、功能、故障及测试之间相关性的一种模型表示方法。在多信号模型中,组成

收稿日期: 2010-07-14; 修回日期: 2010-10-26

基金项目: 国家自然科学基金(60934002, 61071029); 部级预研基金; 中央高校基本科研业务费(103.1.2E022050205)

作者简介: 龙兵(1974-), 男, 博士, 副教授, 主要从事测试性分析与故障诊断方面的研究。

单元的故障模式根据作用结果不同分为两类：使系统的工作参数偏离容差范围之外，但原有功能不丧失的功能故障F和导致系统失去原有功能的一般故障G。多信号模型中的信号(功能)是指表征系统或其模块特性的特征、状态、属性和参量，可能的信号数是有限的，并能够区分为正常和异常两种状态，相应测试结论为通过或不通过。

2 软件平台总体框架

基于多信号模型的系统可测性建模软件平台的设计思想如图1所示。建模人员根据系统的原理图对系统划分功能层次图，然后在软件平台上以拖放的方式输入结构图并添加相关信号生成有向图的多信号模型。平台根据系统模型的分层结构建立树结构，为模型遍历及依赖矩阵的生成奠定基础。当多信号模型建模完成后，平台通过某种遍历算法，根据建模时设定的模块标签提取待分析的模块以及各模块间的拓扑关系，由模块的拓扑关系及相应算法得到可达矩阵，根据模块的关联信号和其可达矩阵通过一定的算法生成依赖矩阵。

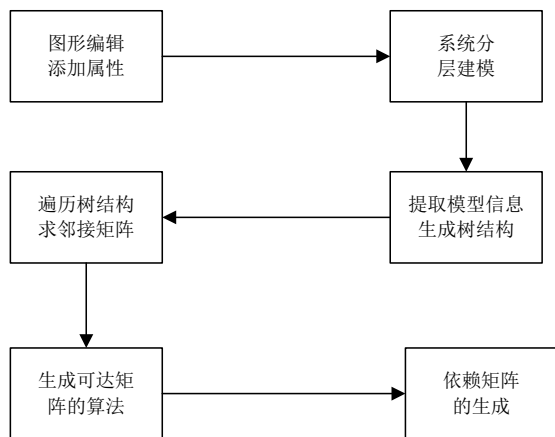


图1 系统可测性建模软件平台的设计思想

2.1 构建基于Visio的图形化平台

Microsoft Visio是一个基于图形的绘图软件，它提供了丰富的内置图形，用户可以将这些图形拖放到绘图页中来创建图形，它以方便的模型管理及丰富的Automation为用户提供了可用于各种领域的完备的解决方案。将Visio ActiveX Control控件嵌入VC++工具开发的应用程序中，Visio绘图控件与应用程序的用户界面相结合，应用程序可以通过Visio控件的实例来访问Visio的Automation属性和方法，并响应Visio控件发出的事件。应用程序以编程方式对Visio控件进行全方位的访问和控制。

在VC6.0的程序中嵌入Visio Drawing Control^[10]

控件，其对应的类为CDrawingControl，实例化该控件即定义变量m_drawCtrl。使用该变量就可以通过Visio绘图控件API来访问Visio对象模型，如可通过其GetDocument()函数和GetWindow()函数获得对Visio Application对象引用，代码如下：

```

    CVDocument m_doc=m_drawCtrl.GetDocument()
    CVApplication m_app=m_doc.GetApplication()
  
```

通过对Visio对象模型的访问，调用Visio对象的属性和方法，就可以实现许多与图形化建模相关的功能。此外，该控件还公开了所有Visio Window和Document事件，可以通过这些事件来实现应用程序中数据的更新，实现程序的特殊功能。

2.2 分层建模环境的构建

常规图形设计工具(如CAD、VISIO)页与页之间是没有联系的，是孤立的。这种单页绘图方式不能满足在单个文件中反映复杂的系统，包括组成系统的各种对象、数据、关系等。而本文中所涉及到的基于多信号模型的可测性建模方法的优点之一就是利用分层有向图表示系统属性(结构、规格等)的相关关系。

针对上述问题，本文通过在有连接关系的两绘图页的其中一页中增加一个与另一页中模型相同的模型来建立不同页之间的联系，并用树结构来实现层次化方式存储和显示信息，从而轻松快捷地追踪对象间的连接。

下面以图2所示的某有向图为例，具体说明实现分层建模的方法。

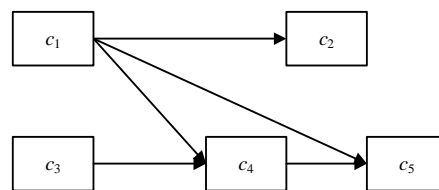


图2 某有向图

把图2中的5个模块分成两组 $A=\{c_1, c_3\}$ ， $B=\{c_2, c_4, c_5\}$ 。根据图2的连接关系得到有向图的分层模型如图3所示，其中图3b、图3c为图3a中的模块A、B的子模块的连接关系有向图。在图3b中增加了一个模块，且使其有与图3a中的模块A有相同的连接点，也命名为A；同样在图3c中增加一个模块，使其有与图3a中的模块B有相同的连接点，命名为B。因为图3b中的模块A与图3a中的模块A有相同的连接点，所以在图3b中模块 c_1 与模块A的连接点 a_1 相连可看作是与图3a中的模块A的连接点 a_1 相连，而在图3a中模块A的连接点 a_1 与模块B的连接点 b_1 相连，由此可推

出图3b中的模块 c_1 与图3a中的模块 B 相连。又图3c中模块 B 的连接点 b_1 与模块 c_2 相连, 则可推出图3b中的模块 c_1 与图3c中模块 c_2 相连。同理可推出图3b中的模块 c_1 与图3c中模块 c_4 、 c_5 相连, 图3b中模块 c_3 与图3c

中的模块 c_4 相连。由上述推理得出的模块之间的连接关系与原图2相同。把图3a、图3b和图3c分别绘制在同一文件中的不同页上, 用此方法即可实现页与页之间的联系。

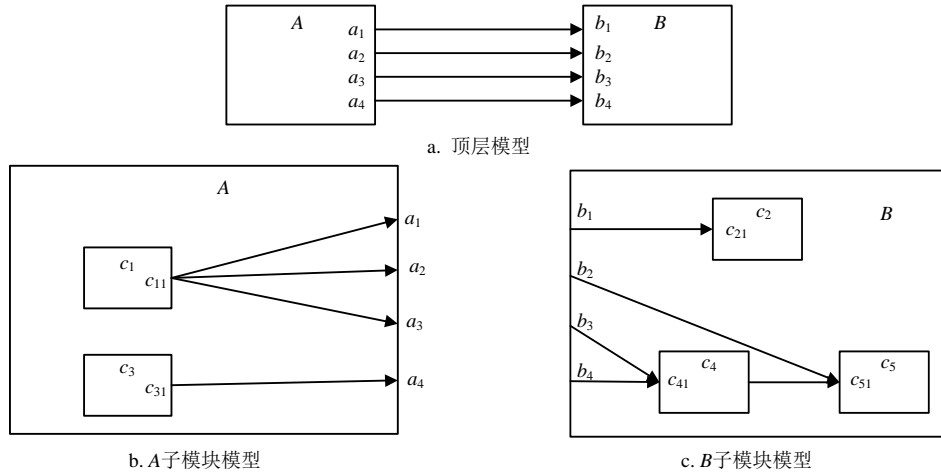


图3 有向图的分层模型

2.3 建立树结构

在Visio中, 为每一个页面Page对象分派一个ID号, 而在每个页面中为每个Shape对象分派一个ID号, 由这两个ID号可确定绘图文件中的唯一Shape对象图形。Shape对象的函数GetMaster()可获得Shape对象是基于主控形状(CVMaster)构成的, 再利用CVMaster的函数getName()即可得到主控形状的名称。本文为每个图形关联一个如下的数据结构:

struct AttrNode

```

{
    ID(图形ID)
    pageIndex(页面ID)
    childPageId(子模块所在的页面ID)
    modelName(名称)
    lable(层次标签)
    ...
}

```

本文以AttrNode的对象为节点建立树结构, 根节点不对应图形, 把其childPageId设为1; 鼠标从工具中选择图形放入页面中, 设置名称、信号或测试集、模块标签(如系统、子系统、模块等), 给对应的AttrNode类型的对象attr赋值; 遍历树结构, 对应节点的childPageId与attr中的pageIndex相比较, 若相等则为对应节点的子节点, 可把attr插入树结构中; 若attr对应的图形有子模块, 则还要把子模块所在的Page对象ID赋值给attr的childPageId。以此类推对图3所示的有向图的分层模型建立如图4所示的树结构。

通过树结构来实现层次化的方式存储信息, 同时容易实现按深度或广度优先搜索遍历模型, 也便于模块查询其子模块的连接关系。

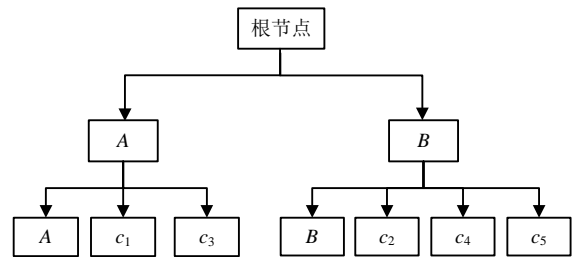


图4 有向图分层模型的树结构示意图

3 依赖矩阵生成算法

在多信号模型中, 故障源与测试之间的依赖关系式通过对模块和测试定义关联信号来实现, 并以此为基础生成故障-测试依赖矩阵对模型进行测试与故障诊断。故障-测试依赖矩阵为被测对象的组成单元故障模式与测试相关性的数学表示, 是对被测对象进行测试性分析的基础^[4]。依赖矩阵 $D[d_{ij}]$ 以故障源作为行索引、测试集作为列索引, 如果故障源 C_i 发生故障时能被测试 t_j 检测到, 则 $d_{ij}=1$, 否则 $d_{ij}=0$ 。通过遍历从系统模型中提取的树结构获得待分析模型的邻接矩阵, 进而由算法求得依赖矩阵。下面结合图5所示的放大滤波电路来详述该算法。示例电路由功能和特性可化分为放大器 $A(R_1、R_2、R_3$ 和 $A_1)$ 、低通滤波器 $F(R_4$ 和 $C_1)$ 和缓冲器 $B(A_2)$ 3个子电路。图5中还标明了每个元器件所关联的信号、测点的位置和相关测试。

当系统很复杂时, 上述方法的矩阵乘法次数较多会降低效率。为此对式(1)做改进:

$$B(D) = (A(D) + E)^n - E \quad (2)$$

同样把 $B(D)$ 中非零元素换为1, 而为零的元素不变, 得到的 $B(D)$ 与用式(1)得到的结果相同。

证明: 对式(2)展开得:

$$B(D) = (A(D) + E)^n - E = E + C_n^1 A + \dots + C_n^n A^n - E \quad (3)$$

因为要对 $B(D)$ 中的非零项做归一化处理, 所以可省去式(3)中各项的系数得到:

$$B_1(D) = A + A^2 + \dots + A^n = \sum_{k=1}^n A^k \quad (4)$$

式(4)与式(1)有相同的形式。证毕

式(2)明显减少了矩阵的运算次数, 提高了算法的效率。每个测点有一个或多个测试集, 若模块对测点具有可达性, 则模块对测点上的测试集也具有可达性。以矩阵 $B(D)$ 中 $R_1, R_2, R_3, A_1, R_4, C_1, A_2$ 为行, 以 TP_1, TP_2, TP_3 中的测试集 $\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9\}$ 为列, 提取矩阵 $B(D)$ 中对应值即可得放大滤波电路的完全故障依赖矩阵(G 表示完全故障)为:

$$B_G(D) = \begin{matrix} & \overbrace{t_1 \ t_2 \ t_3 \ t_4}^{TP_1} & \overbrace{t_5}^{TP_2} & \overbrace{t_6 \ t_7 \ t_8 \ t_9}^{TP_3} \\ \begin{matrix} R_1(G) \\ R_2(G) \\ R_3(G) \\ A_1(G) \\ R_4(G) \\ C_1(G) \\ A_2(G) \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

然后求取功能故障的依赖矩阵。首先, 根据完全故障依赖矩阵的行数和列数构造并初始化功能故障的依赖矩阵, 矩阵元素初始值均为0; 然后, 对模块中的信号集与测试集的信号集做比较, 若模块的信号集与测试集的信号集有交集, 说明该测试集可测出模块的故障, 则对应下标的行列值为1; 如 R_1 包含信号 $\{s_1, s_5\}$, 而 t_1, t_6 可检测信号 s_1 ; t_4, t_9 可检测信号 s_5 。则 R_1 在 t_1, t_4, t_6, t_9 对应的位置为1, 可得 R_1 的功能故障矩阵(F 表示功能故障)为:

$$B_F(R_1) = \begin{matrix} & \overbrace{t_1 \ t_2 \ t_3 \ t_4}^{TP_1} & \overbrace{t_5}^{TP_2} & \overbrace{t_6 \ t_7 \ t_8 \ t_9}^{TP_3} \\ R_1(F) & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

如此对模块 $R_1, R_2, R_3, A_1, R_4, C_1, A_2$ 与测试集 $\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9\}$ 的可检测信号做比较, 可得放大滤波电路的功能故障的矩阵为:

$$B_F(D) = \begin{matrix} & \overbrace{t_1 \ t_2 \ t_3 \ t_4}^{TP_1} & \overbrace{t_5}^{TP_2} & \overbrace{t_6 \ t_7 \ t_8 \ t_9}^{TP_3} \\ \begin{matrix} R_1(F) \\ R_2(F) \\ R_3(F) \\ A_1(F) \\ R_4(F) \\ C_1(F) \\ A_2(F) \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

对照图1中的电路图, 测试点 TP_1 测不到 A_2 的信号, 而矩阵 $B_F(D)$ 中 $A_2(F)$ 对应的列 t_1, t_2, t_3, t_4 为1, 所以需要对该矩阵做修正。完全故障的依赖矩阵中值为1表示该故障的可达测试点, 值为0表示不是该故障的可达测试点, 所以完全故障的依赖矩阵中值为0的位置对应功能故障的依赖矩阵中的值应为0。根据这一规则对功能故障的依赖矩阵做修正, 对于矩阵 $B_F(D)$ 中 $A_2(F)$ 对应的前4项应为0。把完全故障的依赖矩阵与功能故障的依赖矩阵隔行合在一起即得到图1放大滤波电路的依赖矩阵, 如表1所示。由该矩阵则可计算电路的故障检测率^[12](FDR)、故障隔离率(FIR)、未检测故障、冗余测试、模糊组、隐藏故障和掩盖故障等用于系统可测性评估的指标。

表1 放大滤波电路的依赖矩阵

	TP ₁				TP ₂	TP ₃			
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉
R ₁ (G)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R ₁ (F)	1	0	0	1	0	1	0	0	1
R ₂ (G)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R ₂ (F)	1	0	0	1	0	1	0	0	1
R ₃ (G)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R ₃ (F)	0	0	0	1	0	0	0	0	1
A ₁ (G)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A ₁ (F)	1	1	1	1	0	1	1	1	1
R ₄ (G)	0	0	0	0	1	1	1	1	1
R ₄ (F)	0	0	0	0	1	0	0	0	0
C ₁ (G)	0	0	0	0	1	1	1	1	1
C ₁ (F)	0	0	0	0	1	0	0	0	0
A ₂ (G)	0	0	0	0	0	1	1	1	1
A ₂ (F)	1	1	1	1	0	1	1	1	1

4 应用实例

根据本文研究的建模技术, 开发了图形化系统可测性分析软件平台, 具体开发方法参见文献[13]。利用所开发的软件平台对文献[14]中所述实例XX雷

达发射机系统进行建模,如图7所示。依赖矩阵生成算法模块的计算结果如图8所示。

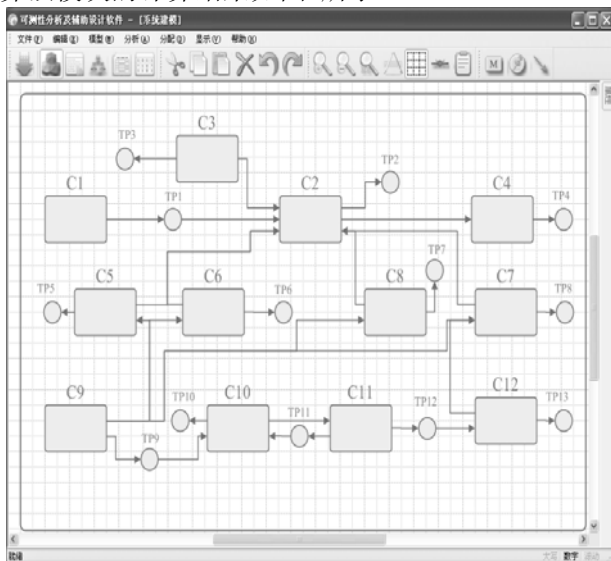


图7 XX雷达发射机系统多信号模型

依赖矩阵

行列	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	t25	t26	t27	t28	t29	t30
C3(G)	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1(G)	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
C1(F)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2(G)	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
C2(F)	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4(F)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
C5(F)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
C6(F)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C8(G)	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
C8(F)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C7(F)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
C9(G)	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C9(F)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C10(G)	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C11(F)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
C12(G)	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
C12(F)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

图8 XX雷达发射机系统多信号模型的依赖矩阵

5 结束语

本文以Visio绘图控件为支撑,利用VC对其进行二次开发,搭建了可分层建模的图形化建模环境。理论分析与仿真实验表明,利用Visio图形控件有使软件开发简单,分层依赖矩阵生成算法高效等优点。开发的“系统可测性建模与分析”工具具有较好的通用性,可用于雷达或其他等机电系统可测性建模与分析。

参考文献

[1] 田仲, 石君友. 系统测试性设计分析与验证[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
TIAN Zhong, SHI Jun-you. Design, analysis and verification for system testability[M]. Beijing: Press of Beijing University of Aeronautics & Astronautics, 2003.

[2] SHEPPARD J W, SIMPSON W R. A mathematical model for integrated diagnostics[J]. IEEE Design and Test of Computers, 1991, 8(2): 25-38.

[3] CHEN C, ZHANG B, VACHTSEVANOS G, et al. Machine condition prediction based on adaptive neuro-fuzzy and high-order particle filtering[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58(9): 4353-4364.

[4] DEB S, PATTIPMI K R, RAGHAVAN V, et al. Multi-signal flow graphs: a novel approach for system testability analysis & fault diagnosis[C]//Proc IEEE Autotestcon. [S.l.]: IEEE, 1994: 361-373.

[5] 杨智勇, 许爱强, 牛双诚. 基于多信号模型的系统可测性建模与分析[J]. 工程设计学报, 2007, 14(5): 364-368.
YANG Zhi-yong, XU Ai-qiang, NIU Shuang-cheng. Model and analysis of system testability based on multi-signal model[J]. Journal of Engineering Design, 2007, 14(5): 364-368.

[6] 陈世杰, 连可, 王厚军. 采用多信号流程图模型的雷达接收机故障诊断方法[J]. 电子科技大学学报, 2009, 38(1): 87-91.
CHEN Shi-jie, LIAN Ke, WANG Hou-jun. Fault diagnosis method of radar receiver using multi-signal flow graphs model[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2009, 38(1): 87-91.

[7] 陈晓梅, 孟晓风, 季宏, 等. 分层递阶多信号建模算法[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(12): 2497-2505.
CHEN Xiao-mei, MENG Xiao-feng, JI Hong, et al. Hierarchical multi-signal modeling algorithm[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 30(12): 2497-2505.

[8] Qualtech Systems. Teamsuser guide[EB/OL]. [2010-01-05]. <http://www.teamsQSI.com>.2003.

[9] LONG Bing, JIANG Xing-wei, SONG Zheng-ji. Study on fault locating technology for satellite power system[J]. Journal of Harbin Institute of Technology (New Series), 2005, 12(5): 507-510.

[10] Microsoft® Visio® 2002 Software Development Kit[Z]. Microsoft Corporation, 2002.

[11] 王欣欣, 李金宝. 关于由邻接矩阵求可达性矩阵的方法[J]. 吉林化工学院学报, 2005, 22(4): 89-94.
WANG Xin-xin, LI Jin-bao. Method of computing accessibility matrix from adjacency matrix[J]. Journal of Jilin Institute of Chemical Technology, 2005, 22(4): 89-94.

[12] SHAKERI M, RAGHAVAN V, PATTIPATI K R. Sequential testing algorithms for multiple fault diagnosis[J]. IEEE Trans on SMC, 2000, 30(1): 1-14.

[13] 高旭, 龙兵, 杨兴霖, 等. 基于Visio的图形化建模可测性分析软件设计[J]. 中国测试, 2011, 37(4): 49-53.
GAO Xu, LONG Bing, YANG Xin-ji, et al. Design of graphic modeling testability analysis software based on visio[J]. China Measurement & Testing Technology, 2011, 37(4): 49-53.

[14] 蒋荣华, 王厚军, 刘震, 等. 复杂电子系统可测性建模方法研究[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(9): 3392-3395.
JIANG Rong-hua, WANG Hou-jun, LIU Zhen, et al. Researching on method of modeling complex electronic system for testability[J]. Application Research of Computers, 2009, 26(9): 3392-3395.

编辑 漆蓉