

# 基于 TEAMS 软件的空空导弹测试性建模方法\*

秦文娟, 王 魁

(中国空空导弹研究院, 河南洛阳 471009)

**摘要:** 基于空空导弹测试性建模目前没有一个详细、规范的方法, 文中结合空空导弹特点, 对多信号流图模型概念进行了补充和改进, 提出了基于 TEAMS 软件的适合于空空导弹测试性建模方法, 并在某型空空导弹伺服系统上开展实例应用, 验证了该建模方法的可行性和有效性。

**关键词:** 空空导弹; 多信号流图模型; TEAMS

**中图分类号:** TJ762.23 **文献标志码:** A

## The Research on Testability Modeling Method of Air-to-air Missile Based on TEAMS

QIN Wenjuan, WANG Kui

(China Airborne Missile Academy, Henan Luoyang 471009, China)

**Abstract:** There is no detailed and standard method for testability modeling of air-to-air missile. In this paper, combined with the characteristics of air-to-air missile, the multi-signal model was improved, a modeling method was proposed based on TEMAS for air-to-air missile. The feasibility and validity of this modeling method was verified by the application on steering machine.

**Keywords:** air-to-air missile; multi-signal flow model; TEAMS

### 0 引言

多信号流图模型(multi-signal flow model)是由 Somnath Deb 等于 1994 年提出, 并由美国 Qualtech 系统公司(简称 QSI)引入其测试性工程和维修系统软件(TEAMS)方案中。TEAMS 软件通过对产品构建多信号流图模型, 能够完成对产品的测试性分析和预计, 可靠性分析, 故障模式、影响及危害度分析以及故障诊断等功能<sup>[1]</sup>。

国内研究人员对多信号流图模型及 TEAMS 软件开展了一定的研究, 但在实际工程应用中, 如何利用多信号流图模型思想, 利用 TEAMS 软件进行测试性建模, 如何确定建模所必须的功能、故障、测试点及其相互关联关系, 目前并没有一个详细、规范的方法。

文中结合空空导弹系统特点, 讨论一种适合于空空导弹的基于 TEAMS 软件的测试性建模方法。

### 1 多信号流图模型建模

多信号流图模型是在系统结构和功能分析基础上, 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。多信号流图模型中的信号(功能)是指表征系统或其组成单元特性的特征、状态、属性及参量, 既可以为定量的参数值, 又可以为定性的特征描述, 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。在多信号流图模型中, 组成单元的故障模式根据作用结果不同分为两类: 功能故障(组成单元故障导致系统丧失部分功能, 系统工作不完全中断)和完全故障(组成单元故障导致系统丧失主要功能, 工作完全中断)。

多信号流图模型的提出者认为测试性建模应从信号的多维属性着手, 识别系统中与元件相关的信号属性和测试检测到的信号属性, 在两者之间建立因果关系。从形式上讲, 多信号流图模型由下列元素组成<sup>[2-4]</sup>:

- 1) 有限的系统构成元件集  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_l\}$ ;
- 2) 系统相关的独立信号集  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ ;
- 3)  $n$  维有限的可进行测试集  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ ;
- 4)  $n_p$  维可用测试点集  $TP = \{tp_1, tp_2, \dots, tp_p\}$ ;
- 5) 每个测试点  $TP_p$  对应一组测试集  $SP(TP_p)$ ;

\* 收稿日期: 2010-09-04

作者简介: 秦文娟(1982-), 女, 河南焦作人, 工程师, 硕士研究生, 研究方向: 测试性设计。

- 6) 每个元件  $c_i$  影响一组信号集  $SC(c_i)$ ;
- 7) 每个测试  $t_j$  检测一组信号  $ST(t_j)$ ;
- 8) 有向图  $DG = \{C, TP, E\}$ , 其中, 有向图的边  $E$  表示系统的物理连接。

从概念上讲,多信号流图模型覆盖了多个信息流模型,模型更接近系统的物理结构。另外,由于模型中的信号是独立的,信号之间不会相互影响。这些特征,使多信号流图模型建模方便、模型的集成和验证都相对简单,并降低了模型的失真。

## 2 基于 TEAMS 的空空导弹测试性建模方法研究

### 2.1 多信号流图模型改进

文中结合空空导弹特点,通过工程实践应用,对多信号流图模型组成元素进行了补充和改进。形成了适合空空导弹的多信号流图模型集。

- 1) 建立层次化有限的系统构成元件集  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_l\}$ , 其中  $C_j = \{c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jm}\}, 1 \leq j \leq l$ ;
- 2) 元件集 I/O 端口信号集  $V_j = \{v_{j1}, v_{j2}, \dots, v_{jk}\}, V'_j = \{v'_{j1}, v'_{j2}, \dots, v'_{jm}\}$ ;
- 3) 建立元件的故障模式集:  $F(c_{jm}) = \{M_{jm}, F_{jm}, A_{jm}\}$ ;
- 4) 有限维的试验测试项目集  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ , 其中每个测试项目的测试集为  $T_i = \{t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{ip}\}, 1 \leq i \leq n$ ;
- 5) 测试集中的每个测试对应一组元件故障现象:  $G(t_{ip}) = \{A_{jm}\}$ ;
- 6) 每个元件  $C_j$  对应一组端口信号集  $SC(C_j) = \{V_j, V'_j\}$ ;
- 7) 每个测试  $t_i$  检测一组信号  $ST(t_i) = \{V_i, V'_i\}$ ;
- 8) 有向图  $DG = \{C, T, E\}$ , 其中, 有向图的边  $E$  表示系统的物理连接。

### 2.2 测试性建模方法研究

应用改进的多信号流图模型集,研究适合于空空导弹的基于 TEAMS 软件的测试性建模方法,具体如下:

- 1) 分析产品功能结构组成,建立系统构成元件集  
首先分析某型空空导弹的产品概况及组成,包括产品的基本工作原理。以产品各级别的可更换单元为依据,确定产品的功能结构组成,并约定其层次,构建产品的功能结构树。

基本划分原则:以产品的功能单元为划分的基本原则,进而以每一级别的可更换单元为基础,同时兼顾功能划分,直至要求的最低可更换单元。

空空导弹结构一般划分为:全弹、舱段、组件、分组件、电路板、元部件等。结合功能特性,确定其功能结构单元,约定其层次,定义为:System 级、Subsystem 级、LRU 级、SRU 级、MODULE 级、SUBMODULE 级、COMPONENT 级。

以某型空空导弹伺服系统组件为例,以树状图的形式描述其功能结构组成,如图 1 所示(图中只列出梗概部分,细节部分略去)能够清楚表述产品层次关系。

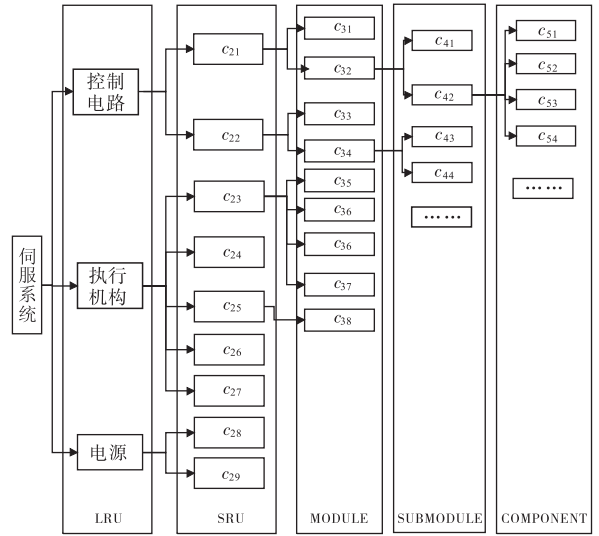


图 1 功能结构树

#### 2) 确定 I/O 端口信号集

针对已划分的各个功能结构单元,明确其输入、输出端口信号名称,每个元件  $c_j$  对应一组端口信号集  $SC(c_j) = \{V_j, V'_j\}$ 。

表 1 产品单元组成与故障清单

功能结构模块 ( $C_j$ )	输入端口信号 $V_j$	输出端口信号 $V'_j$	备注
控制电路	± 27V	± 15V	...
	控制信号 1	驱动信号 1	
	控制信号 2	驱动信号 2	
	控制信号 3	驱动信号 3	
	控制信号 4	驱动信号 4	
	偏角反馈信号 1	自检正常	
	偏角反馈信号 2		
	偏角反馈信号 3		
	偏角反馈信号 4		
	自检启动信号		
.....	.....	.....	.....

#### 3) 确定故障模式集

针对已划分的功能结构模块,分别描述其故障模式,故障发生频率,故障现象,满足  $F(c_{jm}) = \{M_{jm}, F_{jm}, A_{jm}\}$ 。

表 2 产品故障清单

功能结构模块 (C <sub>j</sub> )						故障模式 M <sub>jm</sub>	故障发生频率 F <sub>jm</sub>	故障现象 A <sub>jm</sub>	备注
伺服系统	控制电路	SRU 1	MODULE 1	SUBMODU 1	COMPONENT 1.1	电位器输出有毛刺	0.2	伺服系统性能下降	...
					COMPONENT 1.2	...	...	...	...
					COMPONENT 1.3	...	...	...	...
		SRU 2		SUBMODU 2	COMPONENT 2.1	...	...	...	...
					COMPONENT 2.2	...	...	...	...
					...	...	...	...	...
	LRU 2	SRU 3	MODULE 2	...	...	...	...	...	...
				...	...	...	...	...	...
				...	...	...	...	...	...
				...	...	...	...	...	...
				...	...	...	...	...	...
				...	...	...	...	...	...

4) 确定测试类别和测试项目

空空导弹各级产品的测试内容依据其所处的科研状态不同而不同。以产品的交付为线索,梳理产品在不同交付阶段的试验内容及测试项目,并对不同阶段的测试进行系统分析。确定试验测试项目集 T = {伺服系统交付试验,全弹交付试验,导弹内场测试}。

表 3 产品 T<sub>i</sub> 试验测试项目

序号	试验测试 T <sub>i</sub>	测试参数	能测到故障现象 A <sub>jm</sub>	I/O 端口信号 V <sub>j</sub> , V' <sub>j</sub>
1	空载角速度	120	伺服系统性能下降	伺服系统驱动信号 / 机械输出
2	T <sub>i2</sub>	...	...	...
3	...	...	...	...

5) 建立测试性模型

在 TEAMS 软件中,依据前述信息形成有向图,添加测试以及相互关联关系,建立测试性模型。

2.3 测试性建模方法应用

将该方法应用在某型空空导弹伺服系统,通过建模方法的 5 个步骤,形成测试性建模的规范输入,确定组件功能结构组成、故障模式集合以及测试类别和测试项目等内容。并据此建立组件测试性模型,开展基于软件测试性分析,得到组件的故障检测率,故障隔离率,如表 4 所示,同时还能得到表征系统测试性信息的 D 矩阵、未检测故障等相关信息。

表 4 某型空空导弹伺服系统在不同交付阶段下的测试性指标

	故障检测率/%	故障隔离率 (隔离到 LRU)/%
	伺服系统	95.69
交付试验	87.07	43.56
内场测试	86.46	42.95

通过对 D 矩阵、未检测故障等信息分析可知,依据该建模思路建立的模型能够较为全面地描述组件各组装等级的功能模块,及其在相应功能模块下的测试信息。

3 结论与展望

文中提出了一种适用于空空导弹的测试性建模方法,并通过实例验证了该方法的可行性和有效性。为空空导弹领域测试性建模提供了应用范例,有助于测试性建模和分析工作的推广和应用。

参考文献:

[1] 刘海明,易晓山.多信号流图的测试性建模与分析[J].中国测试技术,2007(1):49-50.

[2] 连光耀,黄考利,吕晓明.基于混合诊断的测试性建模与分析[J].计算机测量与控制,2008(5):601-603.

[3] 杨智勇,许爱强,牛双诚.基于多信号模型的系统测试性建模与分析[J].工程设计学报,2007,14(5):364-368.

[4] 李天梅,邱静,刘冠军.基于多信号流图的测试性验证试验样本选取方法[J].系统工程与电子技术,2008(11):2284-2286.

[5] 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.