

# 基于 GIS 技术与半定性推理的 导弹测试电路故障诊断\*

张艳红,刘光斌,康月兵

(第二炮兵工程学院,西安 710025)

**摘要:**研究了利用 GIS 与半定性推理技术进行导弹测试电路故障诊断的方法。首先利用 GIS 技术提取测试电路关键特征线路及器件信息,然后构建电路模型和状态模型,最后根据故障现象应用模糊-定性方法进行故障点分析。实践表明该方法形象化了故障分析过程,提高了导弹测试电路仿真与故障诊断的效率。

**关键词:**GIS;故障诊断;定性推理

**中图分类号:**TJ760.6 **文献标志码:**A

## The Fault Diagnosis of Missile Test Circuit Based on GIS and Semi-qualitative Techniques

ZHANG Yanhong, LIU Guangbin, KANG Yuebing

(The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** This fault diagnostic techniques of missile test circuit using GIS and semi-qualitative reasoning techniques was studied. Firstly, the key information of circuitry and component was extracted using GIS technology, and then the circuitry model and status model were constructed. Finally the Fuzzy-qualitative based fault diagnosis was used to analysis fault point based on the fault phenomenon. In this way, the process of fault analysis was visualized and the efficiency of circuit simulation and fault diagnosis is greatly improved.

**Keywords:** GIS; fault diagnosis; qualitative reasoning

### 0 引言

导弹测试电路是导弹控制系统的重要组成部分,多采用 COMS-继电器电路组成,具有逻辑关系复杂、线路庞杂等特点,对其依据传统电路理论知识和少数专业人员实践经验的故障分析方法难以满足部队训练和作战保障的效率要求。文中结合导弹测试电路特点,提出了 GIS 技术与半定性推理相结合的故障诊断模式,在进行电路故障分析的同时能展示电路分析进程,适合部队官兵进行故障定位和技术人员培训。

### 1 基于 GIS 组件的测试电路数据提取

#### 1.1 GIS 组件介绍<sup>[1]</sup>

GIS 是 20 世纪 60 年代中期发展起来的技术,已广泛应用于资源开发、城市规划、交通、通

信等方面。GIS 能够完成空间数据输入、数据存储与检索、数据处理与分析及数据输出等基本功能,并能结合具体应用开发具有专业特色的 GIS 系统。

由于 GIS 系统构建复杂,目前基于 GIS 组件进行系统开发已成为 GIS 发展的潮流。MapX 是 MapInfo 公司向用户提供的具有强大地图分析功能的 ActiveX 控件产品,使用了与 MapInfo Professional 一致的地图数据格式,而且还在控件中实现了地图编辑和空间分析等 MapInfo Professional 的大多数功能。采用该控件可以方便地将地图控制集成到使用标准可视化编辑工具(VC++, VB 等)开发的应用中,从而方便快捷地开发 GIS 应用程序。MapX 采取了基于空间实体和空间索引相结合的空间数据结构。这是一种分层存放的结构。用户可以通

\* 收稿日期:2009-02-28

作者简介:张艳红(1976-),女,河北定兴人,副教授,博士研究生,研究方向:导弹测控,信息栅格。

过图形分层技术,根据自己的需要或一定的标准对各种空间实体进行分层组合,将一张地图分成不同图层。每个图层对应若干基本文件,其中包括:属性数据的表结构文件(.TAB),属性数据文件(.DAT),交叉索引文件(.ID),空间数据文件(.MAP)以及索引文件(.IND)。采用这种分层存放的结构,可以提高图形的搜索速度,便于各种不同数据的灵活调用、更新和管理。

### 1.2 电路网络数据提取的基本流程

电路模型是导弹测试电路故障分析的基础,而模型的构建以电路网络数据信息为依据。文中应用 GIS 的 MapX 组件实现了电路信息的自动提取。由于导弹测试电路多采用 CAD 或 CAXA 等绘图软件进行绘制,或采用纸质形式,数据提取工作是在测试电路已转换成 MapInfo 存储格式之后进行的。

基于定性分析需求及 MapInfo 电子图的数据存储特点,通过以下步骤实现从 MapInfo 电子地图到电路信息数据的自动生成。首先利用 MPAX 控件读取地图中代表电路重点线路的几何和拓扑特点信息和元器件信息,经过处理后建立电路网络表和元器件表,然后通过对网络表与器件的交叉点分析建立测试电路的控制关系,控制关系表、电路网络信息表与元件信息表即可作为定性推理的基础数据信息。

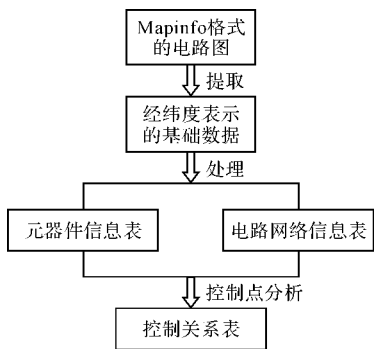


图 1 电路网络数据提取流程

### 1.3 电路网络数据提取的实现

#### 1) 电路网络基础数据提取

利用 MapX 提供的接口,采用面向对象的方法直接读取地图的几何信息。实际中只需对电路线路这一图层进行操作。该图层的图元对象 Feature 代表导弹测试电路中的线路,其类型为线对象。一个图元对象 Feature 又包含若干局

部对象 Parts,而一个 Parts 对象又包含若干点集对象 Points。数据提取的具体方法如下:首先读取每一个图元对象 Feature 上所有点的经纬度坐标,再对一条直线上的点位信息处理后,将以经纬度坐标形式表示的每条线路基础数据写入数据库;然后利用 MapX 提供的 Intersection-Points 方法对图元对象 Feature 两两求交点,得到电路的基本拓扑结构,并把拓扑结构控制数据写入上述线路数据库。采用同样的方法也可获得元器件层的各个器件的位置信息。

#### 2) 电路控制关系分析

电子线路分析除需要了解线路拓扑结构外,还应对其控制关系进行分析,即分析各条线路与器件的连接情况,只有线路与元器件关联才能形成一条完整的电路。由于导弹测试电路中大部分都是开关-继电器控制电路,因此采用以电流流动方向为基础的控制关系分析,即以电源线为分析起始点,按照压降由高到低的方向依次分析每条电路的基础网络与元器件的交叉点,确定是否关联,并将关联信息写入控制关系数据库,为后续的定性推理提供电路功能模型数据。流程如图 2 所示。

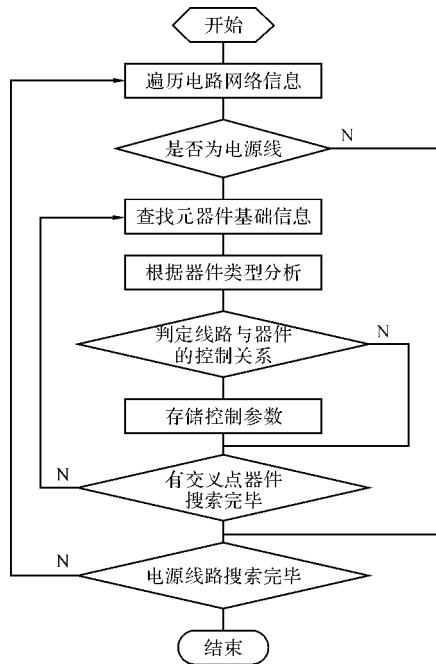


图 2 电路控制关系分析流程图

#### 3) 电路网络控制关系管理

文中使用 VC++ 为开发工具,数据库为 SQL SERVER2000,分别用三类表对电路网络

的线路信息、元器件信息和控制关系信息进行存储,为电路分析和定性推理提供基础数据信息。控制关系管理表结构如表 1 所示。其中,Line-Name 和 LinkName 用于记录当前分析的子电路和关联器件,CondLine 记录关联电路,Cable 记

表 1 控制关系表数据结构

Line Name	Line Type	Link Name	Link Type	Link State	Cable	State	Cond Line	Vol Tage
C1DL1	电源母线	C2K230/1	开节点	0	X101/1	0	C2DL97	15
...								

## 2 半定性推理技术的应用

由于导弹测试电路系统复杂,涉及到的电路种类多,基于定量信息的故障诊断只能建立近似模型,而且分析时间长,不能满足部队快速机动作战要求。因此,可采用定性和半定性方法进行故障检测和诊断,其基础仍然是定性模型和定性推理。

### 2.1 定性建模

定性建模是运用系统的定性知识进行推理的前提。一般认为,任何电路都可以用由许多参数构成的网络来近似表示。对直流电路而言,该参数可取为电阻的形式。相对于元器件的短路、开路和负载情况,分别定义三种定性阻值  $0$ 、 $\infty$  和  $1(0 < 1 < \infty)$  进行表示。建模时,把所有元器件都看作“黑箱”,它们之间只通过各自的引脚进行相互连接和相互作用。根据各个元器件的定性模型及其相互连接关系,可建立起整个电路的定性模型,即“元器件+关系”模型。这种模型在基于 GIS 技术的电路网络数据提取过程中同步完成,由元器件信息表存储器件状态信息,控制关系表存储各条回路的控制关系及电路网络数据信息。

### 2.2 引入半定性推理技术

为提高故障分析的准确度而且不影响电路分析效率,引入模糊-定性推理的故障诊断技术,即所谓的半定性推理。

在基于模糊-定性推理系统中,用特征参数空间  $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_m\}$  表示诊断系统的特征参数集,其中  $c_i$  表示诊断系统的第  $i$  种特征参数;作为决策表的决策属性集合,故障候选空间  $D = \{d\}$  表示故障元素的集合,其中  $d$  表示经过故障分离的系统故障源;用一组模糊定性值表示故障

录电缆连接情况。每个线路的名称同时又是表与表之间的索引,用于建立三大类表之间的关联。这是一种存储电路网络及控制关系的数据结构,所存储数据能够满足定性建模和仿真的需要。

行为的程度,表述诸如严重、轻微等定性的概念。文献[7]中指出, $c_i$  的权重系数  $\omega_j$  利用模糊熵来计算。在不参照概率的条件下,文献[8]给出了模糊性的度量:

$$H(A) = -K \sum_{i=1}^n (\mu_A(x_i) \ln \mu_A(x_i) + (1 - \mu_A(x_i)) \ln (1 - \mu_A(x_i))) \quad (1)$$

式中  $K$  为归一化因子,式(1)满足  $P1 \sim P5^{[9]}$  公理。通过在某种故障下建立  $c_i$  的隶属度函数,可以求出模糊熵  $H(c_i)$ 。由此求出  $c_i$  对于此种故障的权重系数:

$$\omega_i = \frac{H(c_i)}{\sum_{j=1}^m H(c_j)}, j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

当某候选故障  $d$  发生时,系统中一定存在一个或者几个特征参数,处于偏离正常情况的故障状态,那么可利用权重得到各个特征参数的故障可能性。

文中采用以电路定性模型为基础,加入了部分实时采样数据作为定量信息补充,应用模糊定性推理实现的可能故障点定位。应用模糊定性仿真有三点提高:1) 利用模糊集的隶属度函数,加入实时数据,构造有限且离散的量空间,更详细的描述系统变量。2) 模糊量空间利用模糊关系,更详细的描述变量之间的函数关系。3) 在定性仿真中,加入模糊集理论,可以得到有效的状态过滤规则,减少虚假行为的数量,提高仿真效率。

## 3 结论

文中提出了利用 GIS 技术与模糊-定性推理技术相结合的故障诊断方法。此方法首先从导弹测试电路的 MapInfo 电子图中提取出表示电路网络的拓扑信息、元器件信息;然后对电路网络控制关系进行分析以满足定性推理建模要求;

最后利用模糊-定性推理技术相结合的方法,引入部分定量信息进行电路分析和仿真。此方法能实时展现电路分析过程和各器件的状态信息,形象化了故障分析过程,满足部队技术人员故障维修能力培训及故障诊断需求,已成功应用于某型导弹电路故障维修培训系统。

参考文献:

[1] 陈红斌. 基于组件技术的 GIS 系统设计与实现 [M]. 北京:北京邮电大学,2006.  
 [2] 聂佩林,余志,何兆成. 基于 MAPINFO 电子地图的 PARAMICS 仿真基础路网构建[J]. 系统仿真学报, 2008,20(1):214-217.  
 [3] 李文伟. 定性仿真方法发展与应用研究[J]. 系统仿真技术, 2008,4(2):72-74.  
 [4] 马清亮,胡昌华,陈新海. 定性推理在潜在电路分

析中的应用[J]. 西北工业大学学报,2003,21(2): 168-171.  
 [5] 刘洪刚,吴建军,陈启智. 基于定性推理与定量仿真集成的故障诊断推理[J]. 系统仿真学报,2003, 15(5):689-692.  
 [6] 王文辉,周东华. 基于定性和半定性方法的故障检测与诊断技术[J]. 控制理论与应用,2002,19(5): 653-666.  
 [7] Deluca A, Termini S. A definition of a nonprobabilistic entropy in the setting of fuzzy sets theory[J]. Information and Control,1972,20:301-312.  
 [8] 彭昭,王文辉,周东华. 混杂系统元件故障的半定性辨识[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2005,45 (1):111-114.  
 [9] 张继国,朱永忠. 模糊性的信息熵度量[J]. 河海大学常州分校学报,2001,15(4):16-21.

(上接第 237 页)

相位是连续的,所以使用 DDS 芯片 AD9854 实现的二相 FSK 调制信号是 2CPFSK。

2CPFSK 是 FSK 调制的一种特殊形式,其调制指数  $h$  为:

$$h = \frac{2\Delta f}{R} \quad (5)$$

式中: $\Delta f$  为单峰频偏,单位 MHz; $R$  为基带信号码速率,单位 Mbps。

当基带数据码速率是 2.048Mbps,输出信号中心频率为 70MHz 时,根据式(5)得到 2CPFSK 调制的两个频点分别是 69.285MHz 和 70.715MHz。由式(3)得到频率调谐字

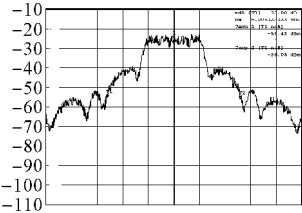


图 5 2.048Mbps 遥测复接数据的 2CPFSK 调制谱

寄存器 1、2 的控制字分别为 (41B1440A032F) hex、(430C5D25651D) hex。实测 2.048Mbps 遥测复接数据的 2CPFSK 调制谱见图 5,其 3dB 带宽约为 2.3MHz。

3 结论

基于 DDS 芯片 AD9854 实现的数字调制器

已成功应用于某型无人机无线电测控系统。通过飞行实验及应用表明,该调制器性能稳定、易于编程控制和模块化,满足了某无人机无线电测控系统的指标要求。解决了国内无人机无线电测控系统数据传输速率较低的问题,实现了无人机无线电测控系统的中频数字化,可推广应用于其它航空、航天通信、测控系统中。

参考文献:

[1] 王冲,赵海洲,张永顺. DDS 在现代雷达和电子对抗中的应用[J]. 弹箭与制导学报,2003,23(4):37-40.  
 [2] 王江,杨建宁,熊金涛. 改善 DDS 输出 LFM 信号谱质的方法[J]. 电子科技大学学报,2005,34(6): 732-7353.  
 [3] David Brandon, Ken Gentile. DDS-Based Clock Jitter Performance vs. DAC Reconstruction Filter Performance [DB/OL]. [http:// www. analog. com/](http://www.analog.com/), 2006.  
 [4] 孙文友,胡永红. 一种用于无人机测控系统的 DS-BPSK 调制的实现[J]. 计算机测量与控制,2008, 16(10):1412-1414.  
 [5] 曲昱,曹辉,段鹏. 基于 FPGA 的帧同步数字复接系统设计[J]. 信息安全与通信保密,2007(3):43-45.  
 [6] 郑淑梅. 2CPFSK 系统中数字图像传输的误码特性分析[J]. 无线电工程,2004,34(9):50-52.