

光电雷达电子部件故障树分析

袁玉勇 李开宇 刘文波

(南京航空航天大学自动化学院 南京 210016)

摘要: 为了快速地找出光电雷达电子部件的故障部件,缩短故障排查的时间,设计并实现了一套以光电雷达为基础的故障检测系统。系统以 VC++ 为开发平台,根据实际经验分析了光电雷达电子部件常见故障,以此为基础建立了基于电子部件的故障树。在给出了底事件的概率的基础上分析并求出了顶事件发生的概率,计算出故障树各个部件对整个系统故障影响的重要度,对量级上进行分析比较,从而找出对系统发生故障影响较大的部件。经验证,利用该方法故障检测效果很好,能快速找到故障源且准确率大大提高。

关键词: 光电雷达;故障树分析;重要度;故障诊断

中图分类号: TP277 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.4030

Photoelectric radar electronic components based on fault tree analysis

Yuan Yuyong Li Kaiyu Liu Wenbo

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In order to quickly find out the fault components of the electronic components of the photoelectric radar, and shorten the time of troubleshooting, a fault detection system based on photoelectric radar is designed and realized. System based on VC++ development platform, according to the practical experience of photovoltaic radar electronic components common faults are analyzed. Based on this, a fault tree based on electronic components is established. In the probability of bottom events is given on the basis of the analysis and the probability of top event to occur, to calculate the importance of all parts of the fault tree to the whole system, analysis and comparison of the order of magnitude, to find a larger influence on the system's failure parts. It is verified that the method can quickly find the fault source and the accuracy can be greatly improved by using this method.

Keywords: photoelectric radar ; fault tree analysis; important degree ; fault diagnosis

1 引言

电子部件是国内某型飞机的光电雷达中非常核心的一个部件,在飞机上主要用于探索、发现、截获和跟踪目标,并且还能够测量目标距离,为攻击目标提供参考信息。正是由于光电雷达的重要性需要定期检查故障,因此检测并找出故障成为必要。将雷达电子部件的重要信号都逐个进行试验检测,并且构造出其对应的故障树,设计出基于 C++ 的光电雷达电子部件检测系统。

故障树分析法(fault tree analysis, FTA)是目前分析系统可靠性和稳定性及安全性的方法^[1-15]。采用逻辑的方法,形象地进行危险的分析工作,特点是直观、明了,思路清晰,逻辑性强,可以做定性分析,也可以做定量分析^[11]。结合电子部件的实际情况并结合故障树诊断的优点设计出了基于电子部件的故障诊断系统。首先建立电子部件的故

障树,以此为基础求出各个模块的最小割集,并求出最小割集重要度,求出与系统影响最大的部分,提供了一种可靠高效的诊断途径。

2 电子部件故障诊断硬件设计方案

2.1 光电雷达组成介绍

光电雷达主要由整机部件、电源部件和校准部件 3 个功能独立的部件组成(如图 1 所示),其中光电组件也是最核心的组件。

气源部件:保证了光电雷达中光接收装置元件的制冷;

电源部件:提供光电雷达所需要的电源电压;

校准部件:是光电雷达进行校准;

激光测距部件:发出激光并测出目标距离的大小^[5];

光学机械部件:输出视频信号;

电子部件:是光电雷达的核心部件,接收来自扫描机

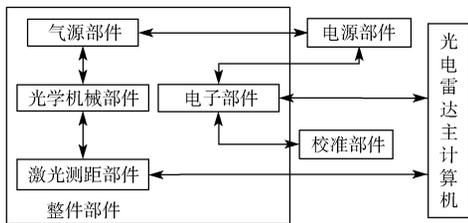


图 1 光电雷达组成框图

构、物镜以及光学机械部件的信息并且进行处理,与主计算机信息交换,产生相应的控制信号,使系统进入相应的工作状态。

2.2 光电雷达系统硬件设计

电子部件是光学雷的组成部分,其主要功能实现专用数字计算机和光学雷达之间的信息交换,处理信息形成控制执行机构工作的信号,使光学机械部件进入规定的工作模式,控制激光测距部件的工作状态,实现光学雷达工作性能的自检。为完成上述功能,电子部件由图 2 所示的部分组成。

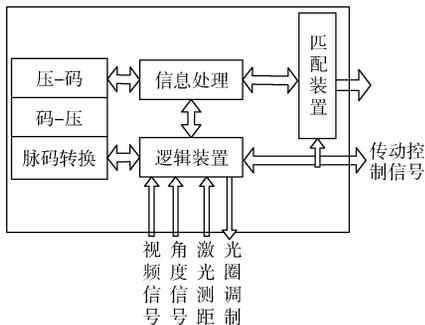


图 2 电子部件硬件组成框图

信息处理装置是一个专用数字计算机,能进行加、减、乘、除的十进制运算,也能进行逻辑运算。

逻辑装置主要包括:输入部件、信息接收部件、视频通道选择部件、码转换器、调制器的控制器、调和光圈步进电机控制器、方位和角位置传动控制器等。

码-电压转换器和电压-码转换器:码-电压转换器就是 A/D 转换器,用于将 11 位二进制(并行)补码转换成模拟电压,而电压-码转换器就是 A/D 转换器,开始启动后到转换结束给出结束信号,其转换结果可以给其他设备使用。

脉-码转换装置主要是将有效的视频脉冲信号的幅值信息(反映信号的强度)转换成 3 位二进制码,用于对光圈的控制,其转换原理同电压-码转换器。

匹配装置实际上是一个输出驱动装置,当电子部件将有关信号与系统进行信息交换时,必须将 TTL 电平的 32 位双极性码转换成 ±5 V 的 32 位双极性码,用于信号的选通与工作状态控制。

3 系统故障树构造及分析

3.1 故障树分析法概述

故障树分析法是以对系统影响最大最不希望发生的事情作为顶事件^[1],分析造成系统故障的原因并进行逐级分解作为中间事件,一直到将不能分解的事件作为底事件,这样就可以得到一个树状的结构图,也就是所熟知的故障树。

故障树可以反映基础事件对系统造成的影响,更可以反映几个基本事件的组合对系统的影响、是分析系统发生故障中一种十分有效的方法。故障树分析一般包括以下几个步骤:建立故障树、故障树的定性分析和定量分析等,其中故障树的建立尤为重要^[9]。

常见故障树符号的含义如表 1 所示。

表 1 故障树符号表

符号	名称	说明
○	基本事件	已经探明的事件,也称为底事件
◇	待发展事件	还没发展的事件,处理时也当做底事件处理
□	中间事件	位于顶事件和底事件之间,通常是一个逻辑门的输出事件,另一个逻辑门的输入
□	顶事件	系统最不希望发生的事情,在故障树的顶端
&	与门事件	所有输入事前全部发生,输出事前才会发生
≥1	或门事件	输入中只要有一个发生就会导致输出发生
=1	异或事件	所有输入事件中单个事件发生,其余都不发生,则输出发生

3.2 故障树的数学表示法

假设所研究的系统中所有部件只取正常和故障两种状态,并且所有的部件等都是相互独立的^[5]。假设共有 n 个底事件,设为 x_i 底事件的状态变量,且 x_i 仅取 0、1 两种状态, T 为顶事件的状态变量 T 也取 0 或 1。

则可以定义如下,其中 $i=(1,2,\dots,n)$

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{底事件 } i \text{ 发生(故障)} \\ 0, & \text{底事件 } i \text{ 不发生(正常)} \end{cases}$$

$$T = \begin{cases} 1, & \text{顶事件 } i \text{ 发生(故障)} \\ 0, & \text{顶事件 } i \text{ 不发生(正常)} \end{cases}$$

顶事件 T 发生的概率完全是由底事件 x_i 所决定的,因此会有 $T=T(x)$,其中 $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$;那么 $T(x)$ 也就

是故障树的结构函数。

设 P_i 为底事件 x_i 发生的概率, P_i^{OR} 表示或门顶事件发生的概率^[1,5], P_T^{AND} 表示与门顶事件发生的概率,那么:

$$P_T^{OR} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (1)$$

$$P_T^{AND} = \prod_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

根据上面公式可以计算故障树顶事件发生的概率。

3.3 最小割集重要度计算

割集是系统底事件的集合,当这些集合中所有事件都发生时,那么顶事件必然会发生,最小割集就是当集合中去掉任何一个事件后,该集合就不是割集了。因此在实际的故障诊断中只需要确定最小割集,然后对每个割集逐个测试,就可以很快的找到故障源。最小割集重要度是每个割集对顶事件发生做出的贡献大小,因此可以计算每个割集的重要度^[1],对那些特别小的就可以忽略,从而重点研究重要度大的割集,这样便于更快捷的找到故障源。定义最小割集重要度为 P_{MT}

$$P_{MT} = P_M / P_T \quad (3)$$

式中: P_M 为最小割集发生的概率, P_T 为顶事件发生的概率, P_M 为割集中各底事件发生概率的积。

3.4 电子部件故障树的构造

以压-码电路板为例,“压-码电路板故障”是最不希望发生的故障,作为顶事件,“误码输出”、“无码输出”等作为不同层次的中间事件,通过对电子部件的了解及分析得“输出脉冲故障”、“移位脉冲故障”等为故障树的底事件,则可以建一个更细节的故障树,如图3所示。

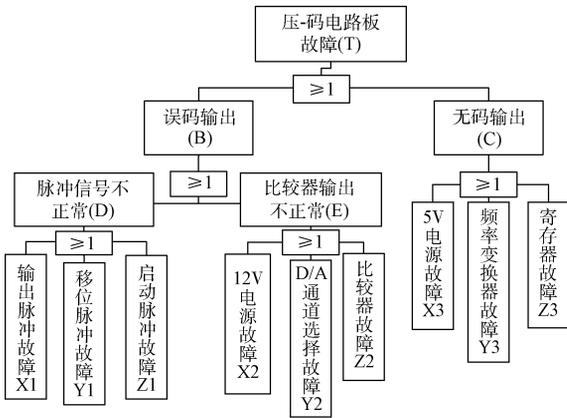


图3 压-码转换电路故障树

4 故障树概率及重要度分析

4.1 顶事件概率计算

以压-码转换电路故障树为例,计算故障树概率及进行重要度分析。如图3所示,B、C、D、E为中间事件,其结构函数如下:

$$D = X1 + Y1 + Z1; E = X2 + Y2 + Z2; \quad (4)$$

$$B = D + E; C = X3 + Y3 + Z3; \quad (5)$$

表2 故障树底事件概率表

标号	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	X3	Y3	Z3
概率	0.05	0.02	0.01	0.01	0.05	0.02	0.01	0.05	0.03

由式(1)~(5)以计算出故障树各中间事件以及顶事件的概率。

$$P(D) = 1 - (1 - P_{x_1})(1 - P_{y_1})(1 - P_{z_1}) = 0.0783,$$

$$P(E) = 1 - (1 - P_{x_2})(1 - P_{y_2})(1 - P_{z_2}) = 0.0783,$$

$$P(B) = 1 - [1 - P(D)][1 - P(E)] = 0.1505,$$

$$P(C) = 1 - (1 - P_{x_3})(1 - P_{y_3})(1 - P_{z_3}) = 0.0877,$$

$$P(T) = 1 - [1 - P(B)][1 - P(C)] = 0.2251;$$

那么顶事件发生的概率为0.2251。

4.2 故障树最小割集及概率重要度

故障树最小割集方法,这里使用上行法求解^[9],也就是Fussell法,该方法就是遇到逻辑与门仅增加割集容量,遇到或门增加割集个数,以此来求出割集,再根据式(3)就可以求出割集的概率重要度。

表3 最小割集表格

1	2	3	4
			M1 (X1X2X3), M2 (X1X2Y3), M3
T	(BC)	(DC)	(X1X2Z3), M4 (X1Y2X3), M5 (X1Y2Y3)
			M6 (X1Y2Z3), M7 (X1Z2X3), M8
			(EC) (X1Z2Y3), M9 (X1Z2Z3), M10 (Y1X2X3)
			M11 (Y1X2Y3), M12 (Y1X2Z3),
			M13 (Y1Y2X3), M14 (Y1Y2Y3),
			M15 (Y1Y2Z3)
			M16 (Y1Z2X3), M17 (Y1Z2Y3),
			M18 (Y1Z2Z3), M19 (Z1X2X3), M20 (Z1X2Y3)
			M21 (Z1X2Z3), M22 (Z1Y2X3), M23 (Z1Y2Y3), M24 (Z1Y2Z3)
			M25 (Z1Z2X3), M26 (Z1Z2Y3), M27 (Z1Z2Z3)

4.3 结果分析

从上面的计算结果可以看出,不同割集对系统的重要度结果相差很大,如果我们取重要度的值 ≥ 0.0001 的话,符合要求的割集为以下几个, M2, M4, M5, M6, M8, M9, M14, M15, M23, 一共9个,其余的割集对系统发生故障的存在着影响,但是就重要度而言,其他的18种几乎不会发生,因此在故障检测的过程中只需要重点检测这9个割集对应的部件,省去了匹配测试的过程,特别是对复杂的故障树给故障排查大大节省了时间和精力。

表 4 最小割集重要度表格

最小割集	重要度	最小割集	重要度	最小割集	重要度
M1(X1X2X3)	0.000 022	M2(X1X2Y3)	0.000 11	M3(X1X2Z3)	0.000 067
M4(X1Y2X3)	0.000 11	M5(X1Y2Y3)	0.000 56	M6(X1Y2Z3)	0.000 33
M7(X1Z2X3)	0.000 044	M8(X1Z2Y3)	0.000 22	M9(X1Z2Z3)	0.000 13
M10(Y1X2X3)	0.000 008 9	M11(Y1X2Y3)	0.000 044	M12(Y1X2Z3)	0.000 027
M13(Y1Y2X3)	0.000 044	M14(Y1Y2Y3)	0.000 22	M15(Y1Y2Z3)	0.000 13
M16(Y1Z2X3)	0.000 018	M17(Y1Z2Y3)	0.000 089	M18(Y1Z2Z3)	0.000 053
M19(Z1X2X3)	0.000 0044	M20(Z1X2Y3)	0.000 022	M21(Z1X2Z3)	0.000 013
M22(Z1Y2X3)	0.000 022	M23(Z1Y2Y3)	0.000 11	M24(Z1Y2Z3)	0.000 067
M25(Z1Z2X3)	0.000 008 9	M26(Z1Z2Y3)	0.000 044	M27(Z1Z2Z3)	0.000 027

5 结 论

以电子部件光电雷达电子部件为研究对象,以故障树分析法对该系统进行了有效的分析,给出了最小割集以及割集重要度的概念及求解方法,使得在故障排查时能够精准快捷,精确到部件。并且对其他系统的故障诊断具有通用性,在工程上有着广阔的应用前景。只要能够正确的建立故障树,就能够做出精准的故障诊断。

参考文献

- [1] 谢彬. 基于故障树的 ATO 故障诊断专家系统的研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2013.
- [2] 安晨亮. 故障树原理在故障诊断系统中的应用[J]. 导弹与航天运载技术,2009(1):48-51.
- [3] 王秋彦,鞠建波,宋振宇. 故障诊断技术研究现状及发展趋势[J]. 电子测量技术,2009,32(4):5-8.
- [4] 潘红兵,蔡云龙. 基于故障树及 LabVIEW 的雷达设备故障诊断[J]. 电子测量技术,2013,36(9):115-118.
- [5] 杜洁. 基于故障树技术的铁路信号设备故障诊断专家系统的实现方法研究[D]. 北京:北京交通大学,2009.
- [6] 杨昌昊,胡小建,竺长安. 从故障树到故障贝叶斯网映射的故障诊断方法[J]. 仪器仪表学报,2009,30(7):1481-1486.
- [7] 范会来,闫英敏,杨凤彪. 基于新型故障树的微控制器

系统故障诊断方法[J]. 国外电子测量技术,2012,31(1):56-59.

- [8] 郭博. 基于神经网络和故障树的运载火箭故障诊断系统的研究[D]. 成都:电子科技大学,2010.
- [9] 刘江. 基于故障树的通用航空器故障诊断专家系统研究[D]. 北京:中国民用航空飞行学院,2011.
- [10] 李晓晖,傅攀. 基于一维盲源分离的滚动轴承故障诊断[J]. 电子测量与仪器学报,2013,27(6):535-542.
- [11] 陈雷. 基于故障树的供水监控诊断系统的仿真[J]. 国外电子测量技术,2014,33(12):35-39.
- [12] 张春华,刘伟. 基于故障树的故障诊断专家系统[J]. 兵工自动化,2009,28(11):15-16.
- [13] 钟飞,刘传伟,邓世东,等. 基于故障树的发射机故障诊断[J]. 舰船电子工程,2013,33(1):111-112.
- [14] 李智敏,陈祥光. 无线传感器节点模块级故障诊断方法的研究[J]. 仪器仪表学报,2013,34(12):2763-2769.
- [15] 段隽喆,李华聪. 基于故障树的故障诊断专家系统[J]. 科学技术与工程,2009,9(7):1914-1917.

作者简介

袁玉勇,1991 年出生,工学硕士,主要研究方向为测试计量技术与仪器,计算机测控等。
E-mail:15380835163@163.com