

基于模糊故障树的地铁综合监控系统可靠性分析

杨飞,葛锁良,岳胜

(合肥工业大学 电气与自动化工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 近年城市交通问题凸显,地铁作为解决城市交通问题的重要方式,其安全稳定运行显得尤为重要。地铁综合监控系统是整个地铁系统安全可靠运行的重要保障,对其可靠性进行有效的评估有着重要的价值。介绍了地铁综合监控系统和模糊故障树理论,运用模糊故障树对地铁综合监控系统可靠性进行分析,并对车站级监控系统的故障进行了定性和定量的可靠性分析,拓展了模糊故障树的使用领域。

关键词: 地铁综合监控系统;模糊故障树;故障;可靠性

中图分类号: U239.3

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)20-0068-03

Reliability evaluation method of subway integrated supervisory control system based on fuzzy fault tree

Yang Fei, Ge Suoliang, Yue Sheng

(School of Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The problems of urban traffic have grown recent years, subway as an important way to solve urban traffic problems, its security and stability is particularly important. Integrated supervisory control system is the substantial guarantee of the reliable operation of subway system, the research of reliability has important value. This paper introduces the subway integrated monitoring system theory and fuzzy fault tree, fuzzy fault tree analysis of reliability of integrated monitoring system and use of qualitative and quantitative reliability analysis of the station monitoring system, expand fuzzy fault tree analysis.

Key words: integrated supervisory control system; fuzzy fault tree; fault; reliability

地铁具有高速、安全、准时、载客量大的特点,是现代城市解决交通拥堵最有效的手段。地铁一旦发生事故,轻则影响乘客出行,重则危及生命财产安全,对社会影响极大,所以其运行的可靠性显得尤为重要。

地铁综合监控系统(ISCS)通过集成地铁中的主要子系统,形成统一的监控层硬件平台和软件平台,对各设备进行集中监控和管理,同时通过列车时刻表和运行图控制站场连锁设备实现车站内的高效可靠运行。由ISCS所完成的功能可见,其能否可靠有效工作直接影响到地铁系统是否安全稳定运行,可以通过对ISCS进行系统的可靠性评估,查找出系统中的薄弱环节,针对这些薄弱点采取措施,降低故障发生率,提高系统可靠性。

本文以地铁综合监控系统为研究对象,对其发生故障的各种因素进行分析。在可靠性分析上运用模糊故障树理论(FFTA),有效地弥补用故障树(FTA)进行可靠性分析的不足,解决了模糊不确定性的问题。最终确定系

统故障原因的各种可能组合方式及其发生概率,从而可以针对分析结果对系统的薄弱环节进行改进,达到提高ISCS可靠性的目的。

1 地铁综合监控系统

地铁综合监控系统作为一个综合信息化平台,集成了多个子系统的中央级功能,并同信号、自动售检票等系统的中央级互联,掌握全线设备的运行情况,负责管辖范围内设备监控与调度,其设备主要设置在控制中心,面向的操作对象是运营部门的环调、电调及维修人员^[1]。地铁综合监控系统采用中央级和车站级两级管理,中央级、车站级和底层设备控制层(现场级)三级控制的分层分布式结构^[2]。其系统结构如图1所示。

地铁综合监控系统由中央级综合监控系统(CISCS)、车站级综合监控系统(SISCS)、车辆段/停车场综合监控系统(DISCS)以及电子维修中心的设备维护系统、培训管理系统(TMS)、仿真试验系统(STP)、网络管理

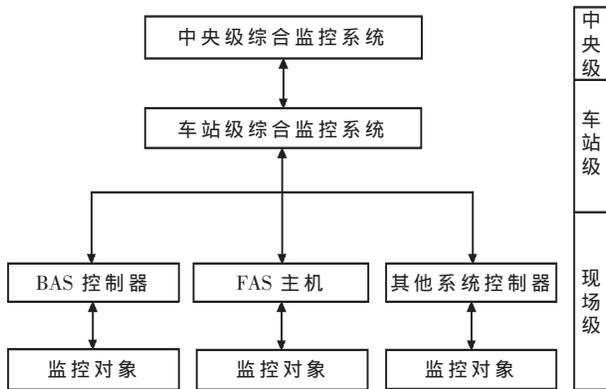


图1 地铁综合监控系统结构图

子系统(NMS)等组成。同时还集成了火灾自动报警系统(FAS)、环境与设备监控系统(BAS)、电力监控系统(SCADA)、综合安防系统(ISDS)、乘客资讯系统(PIS)、自动售检票系统(AFC)、通信系统综合网管子系统、广播系统(PA)、屏蔽门系统(PSD)、大屏幕系统、信号系统(SIG)、不间断电源(UPS)及时钟系统(CLK)等。

(1)中央级可以对整个线路各个站点系统管辖范围内的设备运行状态、故障情况进行监视,并向各个站点发布指令,统一指挥、协调各个站点的运行。信号、自动售检票、综合监控等系统均设有中央级。

(2)车站级设备的监控功能主要是完成本站点设备监控、管理,由综合监控、信号、自动售检票等车站级系统组成。其中综合监控系统在车站级集成了多个子系统的车站级功能,一方面负责管辖范围内设备监视,并根据本站的情况向下级子系统发布控制指令,另一方面将本站设备的运行数据传输给中央级,并接受中央级运行指令。

(3)现场级作为车站级、中央级的被监控对象,是车站地铁机电设备的主体,由BAS、FAS、电力监控系统(PSCADA)、PSD、防盗门系统(FG)、闭路电视监控系统(CCTV)、PIS、SIG、AFC、门禁系统(ACS)等组成。

2 地铁综合监控系统的可靠性分析

2.1 故障树分析法

故障树分析法FTA(Fault Tree Analysis)是进行系统可靠性分析和安全性分析的重要工具之一^[3]。

故障树分析把系统最不希望发生的故障状态作为分析目标,称为顶事件;运用逻辑演绎的方法,找出导致顶事件发生的所有可能直接原因,即中间事件;再跟踪找出导致这些中间事件发生的所有可能直接原因;直至寻找到引起中间事件发生的全部部件状态,称为底事件。用相应的代表符号及逻辑门把顶事件、中间事件、底事件连接成树形逻辑图,即得到故障树。根据故障树,分析系统发生故障的各种可能途径(模式)和可靠性指标,就是故障树分析方法^[4]。故障树分析分为定性分析和定量分析。定性分析的主要任务是寻找故障树的全部最小割集(MCS)。在故障树中,只要有任何一个最小的割集发生了,那么顶事件就会发生。定量分析的任务是给每

个基本事件赋予一概率值来表征其发生故障的相对频繁程度,在概率论的基础上计算出所有的中间事件和顶事件发生的概率以及各基本事件的相对重要程度。

2.2 模糊故障树

模糊故障树分析FFTA(Fuzzy Fault Tree Analysis)考虑到故障树分析中的底事件和顶事件发生概率的不确定性(模糊概率)问题^[5]。在传统故障树分析中底事件和顶事件是一个确定性的事件,基于概率论,其状态只有正常和故障两种,这样可以较好地解决系统的随机性问题。对于大型复杂的系统不仅存在随机性问题,还存在大量的模糊不确定性问题,引入模糊理论,即认为发生故障这一事件本身是清晰的,但发生概率是模糊的,从而使得可靠性理论的研究扩大到能同时处理随机现象和模糊现象。运用模糊数理论^[6],可得三角模糊数来给出基本事件概率的可能性分析,实现故障概率的模糊化,解决了难以获得概率精确值的问题。故障树中的系统失效与部件失效之间的逻辑关系依旧成立,结构函数和最小割集等概念仍然有效,即原有的定性分析依然有效,只是要重新定量分析,分为以下几点:

(1)基本事件发生概率的可能性分析

对于地铁综合监控系统这样大型复杂的系统,基本事件的故障的模糊数的隶属度函数主要通过工程技术人员的实际经验和判断来构造,从而较为准确地描述出故障事件的概率,同时在一定程度上允许描述的误差,具有一定的适应性和灵活性。文章用三角模糊数来描述基本事件发生的概率,基本事件失效是一清晰事件,只不过将事件发生的概率模糊化了。从三角模糊数可得基本事件发生的模糊概率^[5]表达式为:

$$\tilde{P}=(m, \alpha, \beta)$$

(2)门运算扩展

运用扩展定理,将FTA中的门运算扩展成为FFTA中的模糊门运算。在基本事件相互独立的条件下,将推导出:

$$\text{模糊或门: } \tilde{P}_{\text{OR}}(T)=1-\prod_{i=1}^n(1-\tilde{P}(X_i)) \quad (1)$$

$$\text{模糊与门: } \tilde{P}_{\text{AND}}(T)=\prod_{i=1}^n \tilde{P}(X_i) \quad (2)$$

其中, X 表示基本事件, T 表示顶事件。

(3)模糊重要度分析

模糊重要度是在传统FTA重要度基础上产生的,是描述各个基本事件中,某个基本事件的模糊概率变化对顶事件发生模糊概率变化影响的重要程度的一个指标。

2.3 地铁综合监控系统模糊故障树分析

地铁综合监控系统的模糊故障树在系统结构基础上建立,以中央级监控系统故障、车站级监控系统故障和车辆段/停车场监控系统故障为基本事件,地铁综合监控系统为顶事件,得到的模糊故障树如图2所示。

技术与方法 Technique and Method

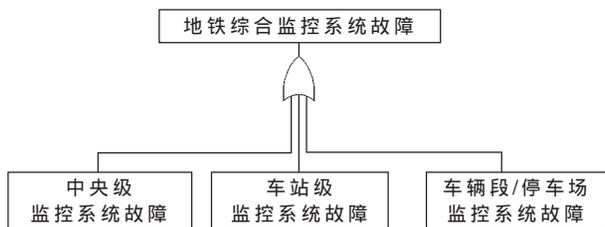


图2 地铁综合监控系统模糊故障树

由于地铁系统较大,本文仅针对典型的车站级监控系统故障进行可靠性研究。

2.3.1 车站级监控系统模糊故障树分析

地铁的车站级监控系统(SISCS)是一套具有完整结

构的自治系统,具自律性,可以独立完成车站各个系统的监控工作,不依赖控制中心,也可以提供本站的实时数据服务,是全线ISCS的基本单位^[6]。

车站ISCS主要由以下系统组成:车站以太网交换机(冗余配置)、车站实时服务器(冗余配置)、双屏综合监控工作站、车站前端处理器(冗余配置)、综合后备盘(IBP盘)、车站报表打印机和操作台。结构图如图3所示。

由车站ISCS的结构可以建立其模糊故障树,如图4所示。

对于基本事件较少情况下采用下行法可得最小割集^[5],对于大型系统可使用软件分析,地铁车站级监控系统故障最小割集: $[X_1, X_2], [X_3, X_4], [X_5, X_9], [X_5, X_{12}], [X_5,$

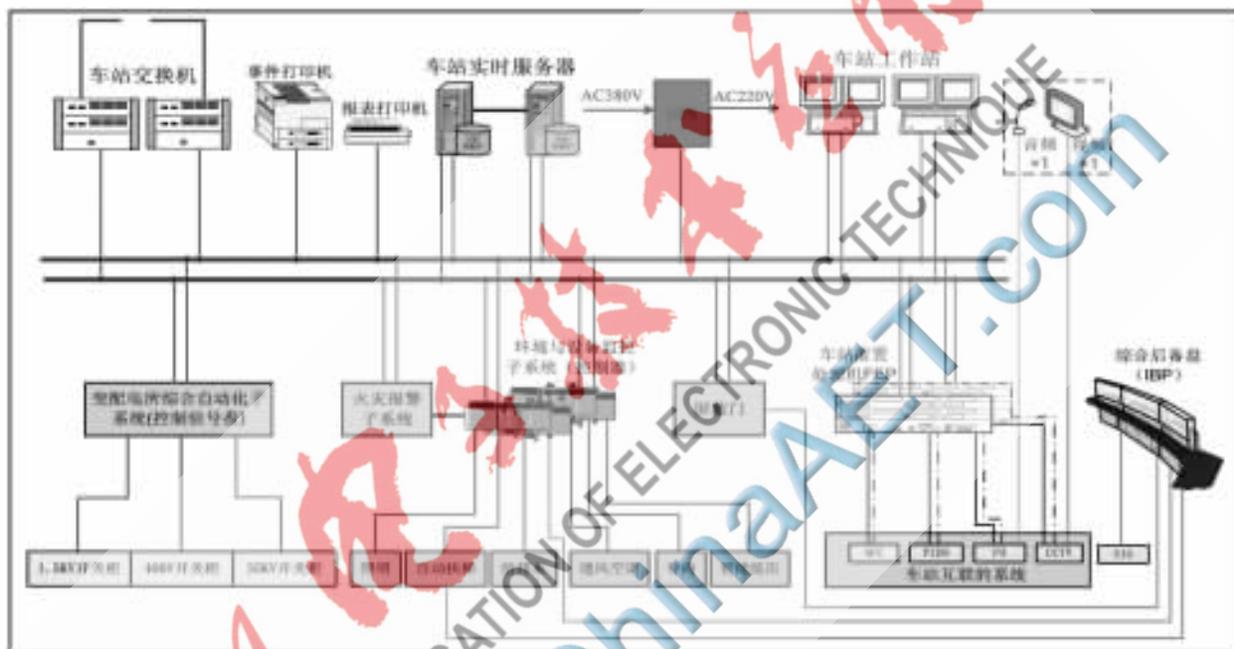


图3 车站综合监控系统

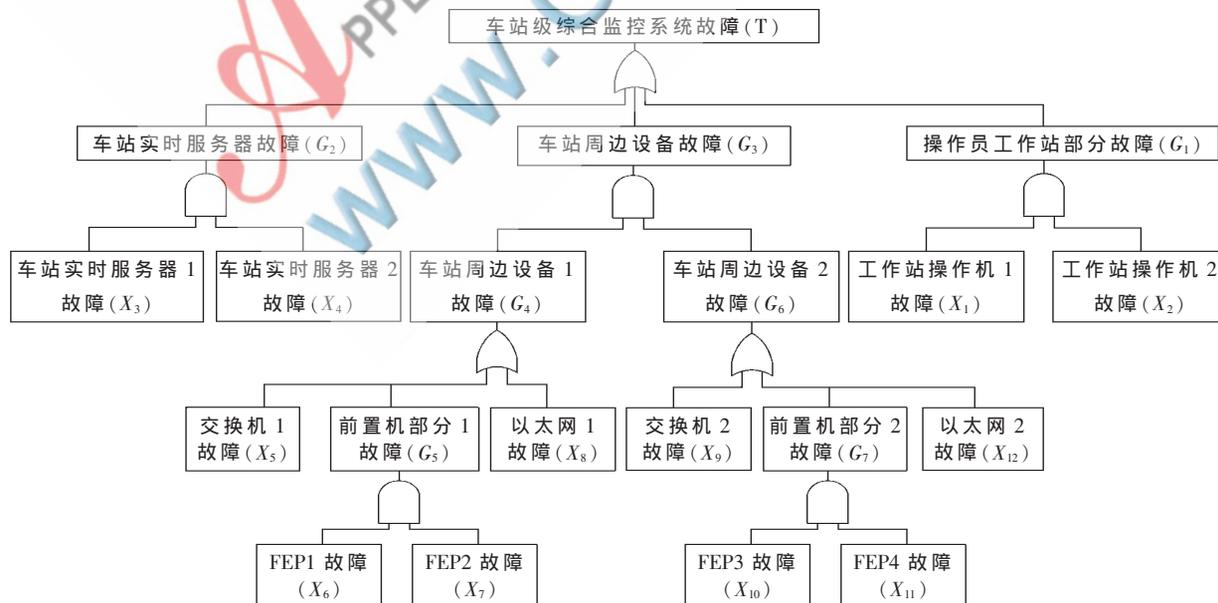


图4 车站级监控系统模糊故障树

技术与方法 Technique and Method

(上接第 70 页)

$X_{10}, X_{11}, [X_8, X_9], [X_8, X_{12}], [X_8, X_{10}, X_{11}], [X_6, X_7, X_9], [X_6, X_7, X_{12}], [X_6, X_7, X_{10}, X_{11}]$ 。

根据车站级模糊故障树按照以下步骤进行定量分析:

(1) 根据工程技术人员的经验和设备的指标可以构造出基本事件故障的隶属度函数, 从而由三角函数模糊数理论得到基本事件的模糊数, 即每个基本事件的模糊故障率。

(2) 在定性分析中的故障树的基础上, 按照模糊逻辑门的运算规则, 计算中间事件和顶事件发生故障的模糊概率。

根据模糊论和三角模糊数, 可以对基本事件进行模糊处理, 按照模糊故障树的扩展门, 可以得到车站级监控故障的模糊概率表达式:

$$P(T) = 1 - P(G_1)P(G_2)P(G_3) \quad (3)$$

$$P(G_1) = 1 - P(X_1)P(X_2) \quad (4)$$

$$P(G_2) = 1 - P(X_3)P(X_4) \quad (5)$$

$$P(G_3) = \{(1 - P(X_5))(1 - P(X_6)P(X_7))(1 - P(X_8))\} \\ \{(1 - P(X_9))(1 - P(X_{10})P(X_{11}))(1 - P(X_{12}))\} \quad (6)$$

将式(3)(4)(5)代入式(6), 最终可得车站级监控系统故障模糊概率表达式:

$$P(T) = \{1 - P(X_1)P(X_2)\} \{1 - P(X_3)P(X_4)\} \\ \{(1 - P(X_5))(1 - P(X_6)P(X_7))(1 - P(X_8))\} \\ \{(1 - P(X_9))(1 - P(X_{10})P(X_{11}))(1 - P(X_{12}))\} \quad (7)$$

(3) 系统一旦发生故障, 应首先根据模糊重要度最大的设备和部件开始分析, 并按照模糊重要度的大小顺序, 来找寻故障的原因。

文章将模糊故障树理论运用于地铁综合监控系统的可靠性分析, 介绍了模糊故障树分析方法的基本原理和步骤, 并对典型车站级监控系统故障进行了定性和定量分析。在计算机的辅助下, 便可以对整个地铁综合监控系统建立完善的系统模糊故障树, 进而在大范围内找出薄弱环节, 对其设计及可靠性研究有着重要的工程意义。

参考文献

- [1] 魏晓东. 城市轨道交通自动化系统与技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [2] 湛维昭. 地铁综合监控系统的集成模式[J]. 都市轨道交通, 2007, 20(4): 82-85.
- [3] 孙权. 应用故障树解决实际问题[J]. 电子质量, 2005(8): 26-31.
- [4] 朱继洲. 故障树原理和应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1989.
- [5] 李冬娜. 系统模糊可靠性研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2008.
- [6] 马克刚. 地铁综合监控系统可靠性评估体系框架[J]. 都市轨道交通, 2010, 23(1): 63-66.

(收稿日期: 2011-06-29)

作者简介:

葛锁良, 男, 1964年生, 研究生, 硕士生导师, 主要研究方向: 控制理论与控制工程、过程控制系统、现场总线研究。

杨飞, 男, 1987年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 构建网络通信。

岳胜, 男, 1955年生, 高级实验师, 主要研究方向: 实验教学与科研工作。