

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2019.06.044

物料自动化输送系统实时可视化故障预警技术

罗家文,钱晓明,楼佩煌,李斌

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘要:为了解决故障处理滞后、复杂故障难以溯源以及故障预警人机交互不佳等问题,开发一种制造物联环境下的多源数据实时驱动故障预警三维可视化技术。建立以该技术实现的系统模型和流程机制,提出了基于复杂事件处理的故障识别方法与三维可视化镜像模型组建技术相结合,实现故障预警深度可视化交互。以典型数字化车间物料输送系统为研究对象,从复杂故障动态识别与故障预警三维可视化交互两个关键技术方面设计系统实现该方案。该技术已应用于某电表自动化检定系统,并取得了良好的效果。

关键词:物料自动化输送系统;故障预警;复杂事件处理;三维可视化管控

中图分类号:TP206.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2019)06-0168-04

Real Time Visual Fault Warning Technology for Automatic Conveying System

LUO Jiawen, QIAN Xiaoming, LOU Peihuang, LI Bin

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

Abstract: With the development of intelligent manufacturing, the conveying system in shop floor needs to have real-time, visual and intelligent fault warning functions. To solve the problems with fault handling lag, difficult tracing complicated fault and poor human-computer interaction, this paper proposes a 3D fault warning and visualization technology based on multi-source real-time data in the context of Internet of manufacturing things (IoMT). Furthermore, it develops the system model and process mechanism of technical implementation, presents a fault diagnosis method based on complex event processing (CEP) combined with 3D visualization modeling, which is used to accomplish the visual interaction of the fault warning. Meanwhile, a typical conveying system is taken as object of study. The proposed technologies are applied to a meter verification system. The results demonstrate its effectiveness is better.

Keywords: automatic conveying system; fault warning; complex event process; 3D visualization

0 引言

物料自动化输送系统作为复杂生产系统的重要组成部分,具有连接和转换生产各个环节的作用,对其进行实时故障预警,对于缩短非计划停机时间、降低系统运行维护成本、提高生产效率、提升企业竞争力具有重要意义。

目前,国内外众多学者对复杂系统故障预警和三维可视化管控方面进行了大量的研究,并取得了很多研究成果。刘晶等^[1]提出了一种含有隐性故障的复杂设备多源关联故障预警方法,建立了多源自适应故障预警模型,并提出了启发式故障频繁挖掘算法,适用于含有隐性故障的复杂设备故障预警。ALIEE等^[2]提出一种故障树和模糊推理相结合的故障分析方法,通过故障树、模糊推理定位故障源。LIU Xuexia, GUO J Y等^[3-4]针对复杂系统故障传播的复杂性和不确定性,运用模糊 Petri 网从不同角度建立和改进了复杂系统故障传播与故障分析模型。尹超等^[5]提出了一种车间异常事件实时管理系统,实现了生产异常事件信息实时采集、实时传递以及预警。姜康等^[6]针对当前车间三维可视化监控需求,利用虚拟现实

技术与信息集成技术,建立车间三维虚拟监控系统,实现了对整个车间内物料、设备等资源的实时三维可视化。谷盛等^[7]针对传统物料输送系统、监控系统存在的信息不完整、现场工况表现不直观等不足,开发了三维建模技术以及现场数据驱动三维再现技术等,实现了物料输送系统实时三维可视化监控。任羿^[8]提出了一种基于 3D 数字化模型的产品组件故障可视化方法,该方法在单元级产品故障可视化技术的基础上,实现了组件级产品故障的可视化表达,从而为可靠性设计结果显示和决策提供清晰直观的信息。周磊等^[9]提出了一种基于三维虚拟认知环境的故障诊断方法,将故障诊断的过程和结果与虚拟现实技术深入结合,提高了故障诊断的识别效率。杜劲松等^[10]提出了一种基于数字化的生产模型,利用故障树分析对制造过程进行实时故障诊断,提高了故障诊断系统的可靠性。

上述研究进一步表明系统故障预警的实时三维可视化是该技术发展的必然趋势,然而目前尚未见到系统级复杂故障的实时三维可视化预警技术研究。为解决上述问题,本文以典型数字化车间物料输送系统为研究对象,研究了制造物联环境下多源数据实时驱动故障预警三维可视化技术。

基金项目:江苏省重点研发计划项目(BE2016004-3);南京航空航天大学研究生创新基地(实验室)开放基金项目(kfj20170513)

作者简介:罗家文(1990—),男,黑龙江齐齐哈尔人,硕士研究生,主要研究方向为智能制造。

1 需求分析与系统建模

随着大批量定制化生产模式的发展,物料输送系统的设备数量与信息流更加庞大,其过程控制也相应变得更加复杂,这对系统运行的可靠性和健壮性提出新的挑战。高柔性、智能化的生产变革也对故障预警系统设计提出了以下需求:1)信息多源且无缝集成;2)实时数据驱动下的复杂故障动态识别;3)宜人的人机交互。针对以上需求,本文建立了如图1所示物料输送系统实时故障预警的框架。该框架分为以下3层:

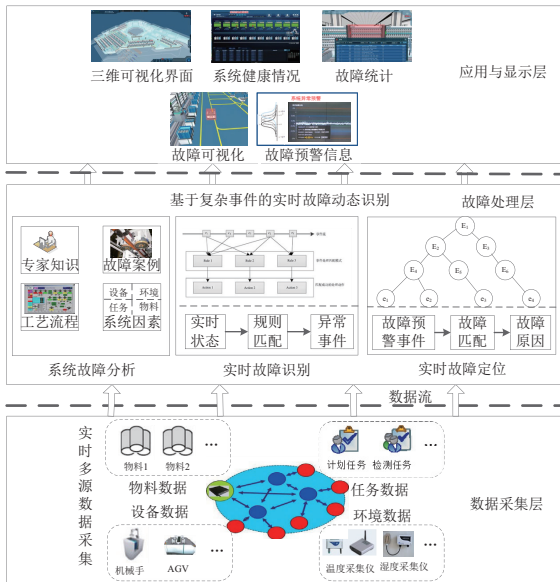


图1 故障预警系统整体框架

1)数据采集层。布置在整个系统中的各类传感器、智能部件、采集终端等构成了多源信息无缝集成的物理基础,实时采集系统运行过程中的物料位置变化数据、设备数据、环境数据以及任务数据等,并以网络化的形式传输给上层应用系统。

2)故障处理层。基于数据采集层系统获取的信息,通过复杂故障动态识别技术,找出故障发生的原因,对系统故障进行实时识别与处理。

3)应用与显示层。为了满足良好的人机交互需求,在系统故障交互方面,应用了一套三维可视化管控系统。该系统主要功能包括故障统计、故障预警信息、故障可视化显示等功能模块,同时提供三维可视化的故障交互界面。

基于上述模型架构,实时故障预警系统的运行机制如图2所示。

2 系统实现的关键技术

2.1 复杂故障动态识别

针对复杂故障,需要根据多源信息进行综合的判断、分析、识别,为管控人员提供准确而精细的预警决策支持。

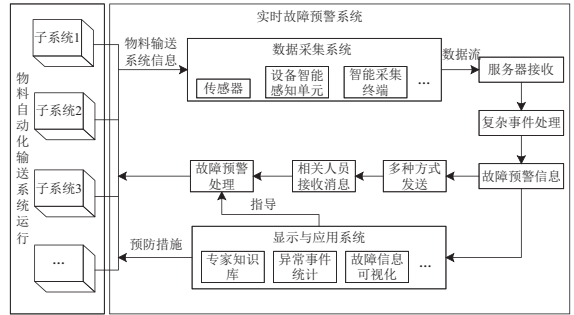


图2 系统运行流程

由于系统故障往往涉及多个设备、过程和事件的交互,因此,本文提出一种基于复杂事件处理的故障动态识别方法。基于复杂事件处理的故障识别与定位实现的具体步骤如下。

1) 系统故障分析

对系统进行层次分解是实现系统故障预警的基础。物料自动化输送系统是一个复杂的多层次系统,包含多个不同的子系统,而每个子系统又分别包含许多不同的控制单元和设备元件。故障具有层次性,低层次故障引起高层次故障,故障是由多种复杂因素综合影响的结果。故障预警系统需要根据故障预警的程度,将系统分解到相应的层次,图3所示为某一物料输送系统的故障层次分类图。对系统故障进行预警通常需要将故障细化到零部件级。

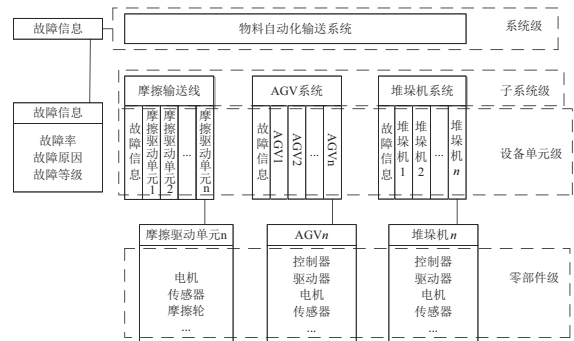


图3 系统故障层次分析图

2) 复杂故障的事件定义与处理机制

为实现故障的识别与溯源,根据系统故障层次分析,分别定义物料输送系统实时故障预警中的原子事件和复杂事件。

原子事件:传感采集事件,反映单个设备或物料的实时时空状态或性能状态变化的事件,是系统有用信息的最小单元,通常包含的信息量小。

定义1:设 E 为原子事件的有限集合, $E = \{e_n | n = 1, 2, \dots, n\}$; 对于 $\forall e \in E, e$ 可以表示为 $e = \{id, attr, timestamp\}$, 其中 id 为事件的编号,具有唯一性; $attr$ 为事件 e 的属性集合,即 $attr = \{attr_1, attr_2, \dots, attr_n\}, n \geq 0$; $timestamp$ 表示的则是事件 e 的发生时间。

复杂事件:物料输送过程中,反映系统中零部件级、设备/单元级、系统级状态的事件,通过时间顺序、因果关系、聚合关系形成的事件。

定义2:设 C 为复杂事件,可以表示为 $C = \langle CE_ID, E,$

Rules, T_{begin}, T_{end} 。其中 CE_ID 表示复杂事件的编号; E 是相关事件流的有限集合, $E = \{e_n | n=1, 2, \dots, n\}, n \geq 1$; Rules 则表示复杂事件的检测规则, 可表示为 $R(e_1, e_2, \dots, e_n), n \geq 1$; T_{begin}, T_{end} 分别表示复杂事件的开始时间和结束时间, 其中 $T_{begin} = \text{MIN}(e_i, \text{timestamp}), T_{end} = \text{MAX}(e_i, \text{timestamp})$; $T_{end} - T_{begin} = T$ 表示复杂事件的时间跨度, 按时间跨度可划分为区间事件和瞬时事件。

本文研究物料输送系统中的故障预警问题, 因此重点关注复杂事件中的故障预警事件。表 1 为某物料输送系统运行过程中的故障预警事件, 表 2、表 3 为常见事件之间的操作符。

表 1 某物料输送系统中的常见故障预警事件

分类	故障预警事件	故障预警指标
设备异常事件	AGV 电池异常	充电频率、充电时长
	AGV 导引精度异常	导引精度
系统异常事件	输送节拍异常	单位时间产量
物料异常	物料输送错误	工位信息匹配

表 2 逻辑运算操作符

符号	语法	意义
\cap	$e_1 \cap e_2$	e_1 和 e_2 同时发生
\cup	$e_1 \cup e_2$	e_1 和 e_2 至少一个发生
$ $	$e_1 e_2$	e_1 和 e_2 只有一个发生
\neg	$\neg e_1$	e_1 不发生

表 3 时序操作符

符号	语法	意义
at	$\text{at}(e_1, t_0)$	e_1 在 t_0 时刻发生
before	$\text{before}(e_1, t_0)$	e_1 在 t_0 时刻之前发生
after	$\text{after}(e_1, t_0)$	e_1 在 t_0 时刻之后发生
between	$\text{between}(e_1, t_0, t_1)$	e_1 在 t_0 时至 t_1 内发生
within	$\text{within}(e_1, T)$	e_1 在 T 时段内有效
->	$e_1 \rightarrow e_2$	e_1 在 e_2 之前发生

如图 4 所示, 应用于故障预警的复杂事件处理机制: 1) 从多源异构数据中抽象出原子事件, 这些事件表示状态的变化、活动的执行等。2) 在复杂事件处理引擎中, 通过事件操作符将不同的原子事件进行因果、层次以及聚合关联分析, 结合相应的知识库, 得到相应的系统故障预警感兴趣的复杂事件。3) 复杂事件流快速传送到故障预警应用系统, 便于快速决策。

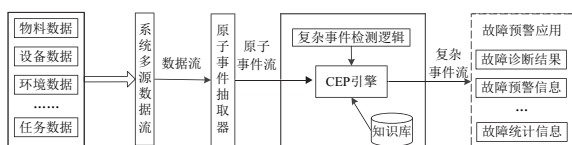


图 4 基于复杂事件处理的故障预警机制

3) 复杂故障的识别

根据事件之间具有的分层特点, 本文采用匹配树的复杂事件检测模型实现复杂故障动态识别。在匹配树事件检测模型中, 叶子节点表示原子事件, 非叶子节点表示复杂事件, 节点之间由相应的事件操作符进行关联。复杂故障识别的基本流程: 事件检测模式首先检测叶子节点上的原子事件, 通过原子事件表达式匹配相应的复杂事件, 若匹配成功则更新节点历史记录, 同时将对应事件发送至缓存; 将所生成的新复杂事件发送至上一级节点进行进一步的事件匹配处理。图 5 所示为某一匹配树, $e_1 - e_4$ 为现场采集的基本事件, $E_1 - E_6$ 为具有某种语义的复杂事件。 e_1 和 e_2 通过某种关系匹配后得到复杂事件 E_4 , 匹配成功后, e_1 和 e_2 会被消耗掉; 接着 E_4 和 E_5 以某种关系匹配聚合得到 E_2 , 一直继续, 直到匹配得到事件 E_1 。若中间某一匹配不成功, 则无法由该路径得到事件 E_1 , 事件 E_1 为系统故障预警关注的事件。通过匹配树可以得到系统故障事件, 反之, 在得到系统故障事件后, 通过查询相应的匹配路径, 可以得到故障原因。

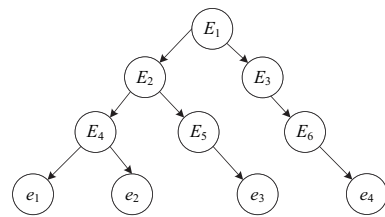


图 5 复杂事件检测匹配树模型

2.2 故障预警三维可视化交互

将故障预警需求与多层次、多粒度三维可视化镜像建模技术相结合, 建立实时数据驱动的故障预警可视化镜像模型, 与真实物料输送设备、场景和过程一一映射, 实现系统故障实时、精确、自主的可视化推送与交互。其基本机制如图 6 所示。

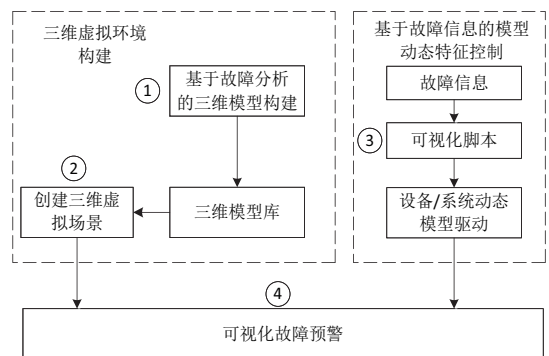


图 6 故障预警三维可视化机制

步骤 1: 通过对系统对象故障分析, 结合系统对象的层次结构, 根据故障可视化的需求, 确定建模的层次和粒度。

步骤 2: 根据实际场景, 将步骤 1 中建立的三维模型合理布置, 与实际场景保持一致, 通过在不同点布置的虚拟摄像机, 实现从不同视角查看三维虚拟场景内部情况。

步骤 3: 在步骤 1 和步骤 2 完成的情况下, 根据不同

对象故障信息,编写其对应的可视化脚本,驱动设备/系统模型动态显示故障特征。

步骤 4:在三维虚拟环境中,实现整个系统故障预警可视化交互。

3 应用案例

目前,本文的研究成果已在江苏省电力科学研究院计量中心的电表自动化检定系统中得到了应用,取得了良好的效果。

以电表检定过程中的电表输送系统为例,阐述系统故障预警的具体实现过程。所监控的系统包括 AGV 系统、机械手系统、RGV 系统。通过对上述系统故障分析,可得该系统的故障分类如图 7 所示。

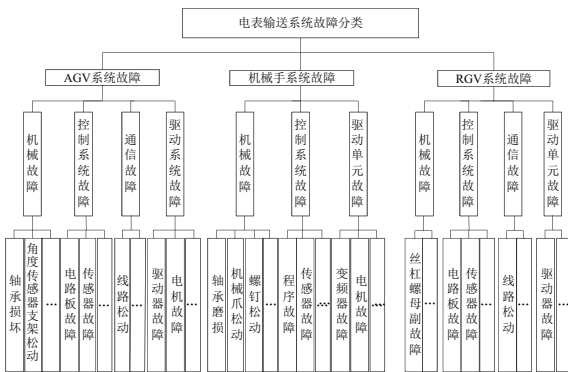


图 7 电表输送系统故障分类图

以电表输送系统中的 AGV 故障预警事件为例(图 8),对系统实时故障可视化应用效果进行说明。AGV 小车输送过程中,AGV 小车上的智能感知单元采集 AGV 运行数据,检测 AGV 导引精度异常,通过复杂事件处理,得到某一磁传感器异常。在实时故障预警系统中,通过鼠标点击 AGV 模型,可以查看 AGV 状态数据,同时以三维可视化形式进行故障定位,实际效果如图 9 所示。

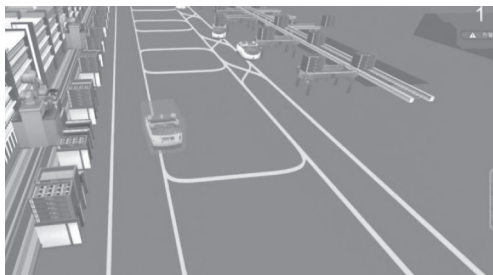


图 8 AGV 实时故障预警可视化

4 结语

本文利用复杂事件处理技术与虚拟现实技术构建了



图 9 AGV 实时故障预警可视化

一种支持实时可视化故障预警系统,建立了该系统的整体框架和运行流程。该系统通过生产现场丰富的感知能力,获取系统及设备的状态数据;通过复杂事件处理系统快速处理多源、海量、异构感知数据,实现故障动态感知;通过三维可视化技术,实现故障预警可视化交互。本文所提技术已在电表自动化检定系统中得到了成功应用,提高了系统运行、维护的智能化水平,验证了本文所提的核心技术与方法的可行性和有效性,也为其他复杂系统的实时可视化故障预警设计与实施提供参考。

参考文献:

- [1] 刘晶,季海鹏,朱清香,等. 含有隐性故障的复杂设备故障预警方法[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(4):1030-1032.
- [2] ALIEE H, ZARANDI, H R. A fast and accurate fault tree analysis based on stochastic logic implemented on field-programmable gate arrays [J]. IEEE Transactions on Reliability, 2013, 62(1):13-12.
- [3] LIU Xuexia. Application research of the fault diagnosis based on backward reasoning of fuzzy Petri net [J]. International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 2013, 7(2): 549-557.
- [4] GUO J Y, SHE W, LI J L, et al. A power system fault diagnosis method based on extended fuzzy petri net [J]. Dian li Xi tong Bao hu yu kong zhi/Power System Protection and Control, 2012, 40(14): 10-15,50.
- [5] 尹超,马春斌,刘飞,等. 车间生产异常事件实时管理系统研究[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(4):719-725.
- [6] 姜康,柯榕,赵小勇,等. 数字化车间虚拟监控系统研究[J]. 航空制造技术, 2016, 59(20):97-100.
- [7] 谷盛,石峥嵘,穆慧玲. 物料输送系统实时三维监控的实现[J]. 工业控制计算机, 2015(8):83-84.
- [8] 任羿,张艳华,杨德真. 一种基于 3D 数字化模型的产品组件故障可视化方法:中国,CN201410778944.1[P]. 2015-4-15.
- [9] 周磊,耿卫国,朱子环,等. 一种基于三维虚拟认知环境的故障诊断方法:中国,CN2015104981896[P]. 2015-12-16.
- [10] 杜劲松,尚文利,史海波,等. 基于数字化生产模型的在线故障诊断技术研究[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(8):1617-1621.

收稿日期:2018-08-09