

UUV 应急处理策略构建推理研究

张宝贵, 周俊

(中国船舶重工集团有限公司第七一〇研究所, 湖北 宜昌 443003)

摘要 考虑水下无人航行器执行任务的安全性和时效性, 需建立完善的应急处理体系。构建了分布式应急处理策略, 实现快速故障诊断和应急响应, 通过基于故障模式的反向推理和深度推理, 利用故障分级诊断的推理策略, 实现了针对不同故障采取相应的应急流程, 并通过半实物仿真和实航测试, 验证了 UUV 应急策略的正确性, 提高了水下无人航行器任务执行的安全性。

关键词 UUV; 故障模式; 应急处理策略; 反向推理

中图分类号 TP273.2 文献标识码 A 文章编号 2096-5753(2021)02-0139-04

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2021.02.011

Reasoning Research on UUV Emergency Treatment Strategy Construction

ZHANG Baogui, ZHOU Jun

(No.710 R&D Institute, CSIC, Yichang 443003, China)

Abstract Considering the safety and timeliness of underwater unmanned vehicles when carrying out a task, a sound emergency response system needs to be established. In this paper, a distributive emergency processing strategy was established to realize fast fault diagnosis and emergency response. Through the backward reasoning and deep reasoning based on the fault mode, and using the reasoning strategy of fault classification diagnosis, the corresponding emergency process for different faults was realized. The correctness of emergency treatment strategy was verified through semi-physical simulation and navigation test, and the security of the underwater unmanned vehicle was improved when carrying out tasks.

Key words underwater unmanned vehicle; fault mode; emergency treatment strategy; backward reasoning

0 引言

水下无人航行器 (underwater unmanned vehicle, UUV) 由于其隐蔽性、智能性和经济性等诸多优点, 在科研试验、海底勘察和无人作战等领域的应用受到高度重视, 推动了 UUV 的快速发展^[1]。UUV 作为无人平台, 考虑其任务执行的安全性、延续性和时效性, 系统应急处理能力的优势是衡量 UUV 的综合性能关键要素^[2-4]。目前, 国内对 UUV 的工程化研究比较深入的仅限少数几家

研制单位, 大多数 UUV 的应急处理策略比较简单。本文将 UUV 应急处理决策关联 UUV 系统故障测试及诊断, 利用故障模式分析, 结合领域专业推理和诊断是决定 UUV 应急处理决策的有效方法, 这种方法在航天领域有比较成熟的应用^[5-6]。

1 UUV 应急处理策略概述

UUV 应急处理策略与 UUV 用途和任务紧密关联, UUV 执行不同任务时响应不同的应急策略。UUV 应急处理策略构建一般包含应急情况确定、

应急等级划分、应急情况判断及应急处理响应等内容。

1.1 应急情况确定

UUV 的任务流程主要包括布放，自主航行，执行任务，回收等主要环节。在整个任务流程中，各环节均可能出现各种类型的应急情况。因此，UUV 应急处理策略的构建基础是系统应急情况确定，系统应急情况一般结合 UUV 任务流程和 UUV 故障模式综合分析来确定。

1.2 应急情况等级划分

不同的 UUV 应急情况对 UUV 任务最终完成有不同程度影响。在应急处理策略构建时，需要梳理 UUV 任务流程确定 UUV 应急等级。UUV 应急等级划分基本原则是按影响 UUV 最终任务完成情况的严重程度，由高到低确定，其中 1 级最高，1 级应急情况将导致任务终止。其他应急情况可根据影响任务完成情况后果程度酌情确认。

1.3 应急情况判断

UUV 应急处理策略中比较关键的内容是应急情况判断，一套比较完善的 UUV 应急情况判断体系需结合 UUV 系统状态测试以及 UUV 故障诊断。UUV 系统状态测试除了对 UUV 系统自身功能部件的功能性能测试外，还应包含 UUV 对外部关键因素的测试，如深度、高度等测试信息。UUV 故障诊断主要是结合故障模式、系统状态测试和故障影响建立故障诊断方案。

1.4 应急处理响应

目前，大多数 UUV 的应急处理响应主要集中在安全应急措施上，对于应急情况处理逻辑框架的研究相对较弱。UUV 应急处理逻辑框架需综合应急响应部件的功能特性、故障诊断和应急情况等级等方面的信息后系统搭建。其中，当 UUV 同时检测到多个应急情况且有冲突时，按优先级别高的应急情况对应的措施进行处理。

2 分布式 UUV 应急处理策略系统构架

UUV 应急处理策略推理技术是综合 UUV 系统状态测试、故障测试诊断以及应急处理响应等多方面的系统工程。UUV 作为无人系统，海量测试

信息是实现推理诊断精确性和应急处理有效性的前提条件，但海量测试信息的处理分析和诊断会影响故障诊断实时性，因此，构建合理的推理诊断系统构架，分层分级处理测试任务和测试信息^[8]，才能实现推理诊断的精确性和应急处理的实时性。

UUV 系统集成度高，功能部件间的关联较多，故障模式复杂，测试信息丰富，这对提高推理的精度有较大的帮助，但大量的数据解析和逻辑推理运算降低了系统的时效性。若采用集中式诊断系统，很难实时有效地处理海量测试信息，而分布式诊断系统构架可实现测试信息的分级处理，从组件到子系统进而到系统，由下至上逐级诊断处理，既保证了测试信息的精确处理，又确保了诊断决策和处理的快速性和实时性。

图 1 为通用 UUV 诊断系统构架，各功能组件为底层测试点，部分组件具备一定的 BIT 功能，所有测试点的测试信息通过总线传输至各分系统故障诊断模块，分系统故障诊断模块根据任务和功能要求对测试信息进行筛选和处理，并将结果传输至故障诊断决策系统，故障诊断决策系统负责子系统故障诊断协同、分配和信息融合，提供决策信息，进而采取相应的应急处理措施。

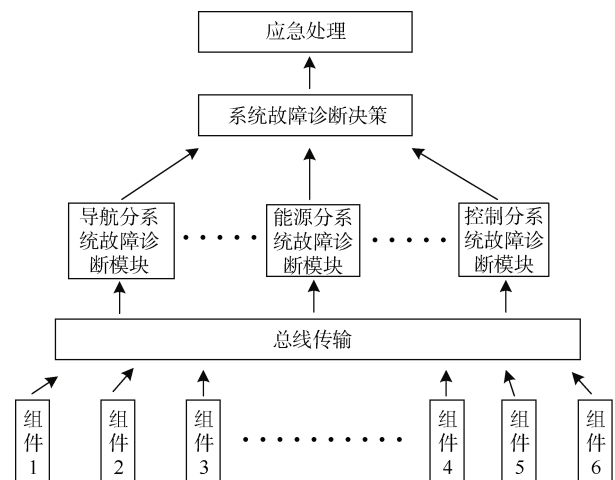


图 1 UUV 诊断系统构架图

Fig. 1 Architecture of UUV diagnostic system

分布式 UUV 诊断系统将故障测试诊断分级分配，避免故障诊断决策系统因复杂故障信息处理过量造成决策滞后，应急处理不及时引起严重后果，

又确保了应对复杂故障时测试信息的完整性, 提高了 UUV 系统故障诊断及应急处理能力。

3 UUV 分级应急处理推理策略

UUV 应急处理程序一般根据 UUV 的使命任务和功能来划分, 与 UUV 的故障模式息息相关, 故障的严重程度直接决定 UUV 任务的完成情况。根据 UUV 使命任务, 将 UUV 的故障模式分为 2 类: 一是严重故障, 该类故障的发生可直接导致 UUV 任务终止; 二是其他故障, 该类故障发生时, 会导致相关功能件功能异常, 但不影响 UUV 最终任务的完成。结合 UUV 故障模式, 同时避免集中式处理带来的资源利用率分布不均造成的时效性问题, 将 UUV 应急处理策略划分为 3 个等级, 由高到低分别为核心功能故障导致无法完成基本任务、由于外界原因导致无法完成基本任务和可完成基本任务但失去部分功能 3 个等级。

1) 第 I 级: 核心功能故障导致无法完成基本任务。

当 UUV 核心部件出现功能性故障无法自恢复时, 将会导致 UUV 无法继续执行后续任务, 这类故障归为 I 级应急响应故障现象, UUV 优先响应 I 级应急处理程序。

2) 第 II 级: 由于外界测试问题导致无法完成基本任务。

UUV 自身无故障出现, 到其测试点测试的外界因素异常导致 UUV 无法继续有效执行后续任务, 这类异常归为 II 级响应异常现象, UUV 响应完 I 级应急处理程序, 处理 II 级应急响应程序或者无 I 级应急处理程序需响应时优先处理 II 级应急处理程序。

3) 第 III 级: 可完成基本任务但失去部分功能。

UUV 出现故障, 但不影响 UUV 基本任务执行。针对这类故障, UUV 对应故障测试点和响应的功能进行相应处理, 前提是保证基本任务的执行。III 级响应故障的响应等级最低。

根据 UUV 应急响应等级, 由高到低进行深度推理, I 级应急响应对应故障单元规模小, 推理效率高, 可快速准确定位, 相对而言 III 级应急响应

对应故障单元规模大, 推理时间长, 同时会出现一定的不确定性。

4 应急处理推理策略

针对各级应急处理策略, 采取面向应急处理策略对应故障的深度推理, 基于 UUV 故障模式分析, 建立 UUV 故障与应急处理策略相对应的应急处理数据库, 结合推理方式^[7]和 UUV 应急处理特点进行由高到低的反向推理策略, 对同级别应急处理策略进行遍历符合性推理, 推理示意图如图 2。

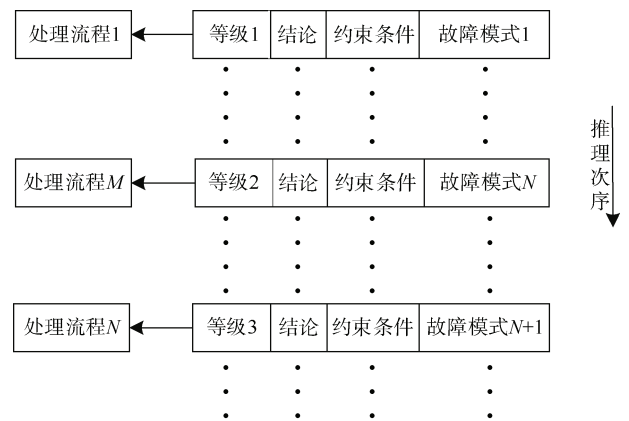


图 2 应急处理推理策略示意图

Fig. 2 Schematic diagram of emergency treatment reasoning strategy

当出现单一故障时, 分系统分级进行预先处理, 系统级故障决断按照遍历推理, 可保证推理诊断过程的精确性。当某一故障模式的结论作为其他故障模式的约束条件时, 存在遍历推理无法匹配的可能性。针对这一问题, 需要进一步进行深度推理, 推理原则如下:

1) 建立故障库, 遍历所有故障模式, 当该故障模式不以其他故障模式结论为约束条件或该条件已获得, 则匹配该故障模式, 匹配成功, 响应对应处理流程, 若不成功, 匹配下一个故障模式。

2) 当该故障模式以其他故障模式结论为约束条件, 且该条件未获得, 则该故障模式应纳入下一次遍历的故障库中, 然后退出并匹配下一个故障模式。

通过针对单一故障和复合故障的反向推理和深度推理相结合, 建立包含故障与应急处理策略相

对应的应急处理数据库，可满足推理的遍历性要求，同时也保证推理过程精确性和严密性。

以某通用型 UUV 开展的应急处理系统测试为

例，21 个组件，建立 68 个故障模式，160 个应急处理流程，采用半实物仿真结合实航的方式进行测试，部分测试结果如表 1。

表 1 UUV 应急处理策略测试情况表

Table 1 Test table of UUV emergency treatment strategy

故障模式	约束条件	结论	应急处理流程	测试结果
电机转速异常	供电系统是否正常	供电系统正常	I 级响应，流程 1	响应正确
		供电系统异常	I 级响应，流程 1	响应正确
	供电正常，控制器是否正常	控制器异常	II 级响应，流程 5	响应正确
		控制器正常	II 级响应，流程 6	响应正确
释放异常	供电系统是否正常	供电系统正常	III 级响应，流程 53	响应正确
		供电系统异常	I 级响应，流程 1	响应正确
	供电系统正常，控制 5V 是否正常	控制 5V 正常	III 级响应，流程 53	响应正确
		控制 5V 异常	II 级响应，流程 12	响应正确
	控制 5V 正常，电机是否正常	电机正常	III 级响应，流程 53	响应正确
电机异常		II 级响应，流程 13	响应正确	

从测试结果来看，应急处理策略推理正常，结论正确。

5 结束语

本文通过对 UUV 应急处理策略推理技术的研究，建立了分布式应急处理策略构建，实现快速故障诊断和应急响应。通过基于故障模式的反向推理和深度推理，利用故障分级诊断的推理策略，实现针对不同故障采取响应应急流程，并通过半实物仿真和实航测试，验证了 UUV 应急策略的正确性，提高了水下无人航行器任务执行的安全性和时效性。

参考文献

[1] ALAAELDEEN M E A, 段文洋. 自主水下航行器发展概述[J]. 船舶力学, 2016, 20 (6): 768-787.

[2] 张安通, 徐令令, 王健, 等. 一种 UUV 智能应急安全控制自救系统设计[J]. 水下无人系统学报, 2019,

27 (5): 548-554.

[3] 陈柱, 徐国华, 王冠学, 等. AUV 主动应急自救机制与策略[J]. 中国舰船研究, 2018, 13 (6): 120-127.

[4] LI Y B, WANG X S, JIN S. Design and realization of security system for deep-water AUV[J]. Ship Engineering, 2013, 35 (5): 59-63.

[5] 陈正, 李华旺, 常亮. 基于故障树的专家系统推理机设计[J]. 计算机工程, 2012, 38 (11): 228-231.

[6] 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): 15-17.

[7] 王兵, 莫建军, 王玉莹. 实时监控与发射决策专家系统推理机设计[J]. 系统仿真学报, 2003, 16 (5): 820-822.

[8] 肖小锋, 蔡金燕, 马飒飒. 基于知识的故障诊断模型研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2004, 18 (z2): 978-982.

(责任编辑: 张曼莉)