



装备科技译著出版基金



高新技术译丛



Springer

Introduction to Autonomous Manipulation
—Case Study with an Underwater Robot, SAUVIM

水下机器人 自主操作导论

[美] Giacomo Marani [韩] Junku Yuh 著

肖玉杰 石章松 等译

田福庆 杨华东 审



国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

水下机器人自主操作导论

Introduction to Autonomous Manipulation

—Case Study with an Underwater Robot, SAUVIM

[美] Giacomo Marani

[韩] Junku Yuh

肖玉杰 石章松

田福庆 杨华东

著

等



国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记 图字:军-2016-133号

图书在版编目(CIP)数据

水下机器人自主操作导论 / (美) 贾科莫·马锐
(Giacomo Marani), (韩) 于函俊著; 肖玉杰等译.

—北京: 国防工业出版社, 2018. 8

书名原文: Introduction to Autonomous
Manipulation—Case Study with an Underwater
Robot, SAUVIM

ISBN 978-7-118-11292-4

I. ①水… II. ①贾… ②于… ③肖… III. ①水
下作业机器人-操作控制 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 158433 号

Translation from the English language edition:

Introduction to Autonomous Manipulation by Giacomo Marani and Junku Yuh

Copyright © Springer – Verlag Berlin Heidelberg 2014

Springer is part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

本书中文版由 Springer 授权国防工业出版社独家出版发行。
版权所有,侵权必究。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 10 字数 198 千字

2018 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 88.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

《水下机器人自主操作导论》

译审人员

主 审 田福庆

副主审 杨华东

主 译 肖玉杰 石章松

译 者 朱惠民 傅 冰 饶 喆

李 耕 邱千钧 朱武兵

兰晶雅 曹 渊 邵 东

中译本序

“在当今世界,任何一支军队,如果关起门搞建设,拒绝学习国外先进的东西,是不可能实现现代化的。”美国兰德公司著名的军事研究专家马歇尔也曾指出:“未来我们面临的首要挑战是知识的挑战。”夺取未来战争的战略主动权,必须依靠先进的科学技术和先进的军事理论。

近年来,美国海军不断加大自主式水下机器人的研究,并出版了许多与之相关的学术著作和技术文献,而半自主式作业型水下机器人(Semi-Autonomous Underwater Vehicle for Intervention Missions, SAUVIM)无疑是众多水下机器人中技术最成熟、测试性能最好的机器人之一。*Introduction to Autonomous Manipulation—Case Study with an Underwater Robot, SAUVIM*(《水下机器人自主操作导论》)是一本探讨水下机器人自主操作的学术著作,是“施普林格先进机器人丛书”(Springer Tracts in Advanced Robotics, STAR)研究团队最新的有关水下机器人领域最前沿的、最高质量的研究成果之一。原著以美国夏威夷大学自主系统实验室、夏威夷 M. A. S. E. 公司以及罗德岛海军水下作战中心联合开发的 SAUVIM 为研究对象,研究 SAUVIM 在高度非结构化、不确定性的环境中,无须或在最少人工干预下完成水下自主作业,如碰撞避免、任务重构、水下目标定位与跟踪、水下机器人导航控制和 SAUVIM 机械臂自主控制系统的设计等问题,以解决水下机器人自主操作的难题。

我国对水下机器人自主操作的研究起步较晚,特别是介绍水下机器人自主操作建模与仿真的书籍、论文还不多。目前,国内水下机器人自主性的研究多偏重虚拟仿真,将其应用于实际平台的文献非常有限。本书在讲解中结合了大量的实例,具有新颖性和前沿性强、多学科交叉、理论与实际结合密切、结构合理、系统性强等特点。

学习和借鉴国外水下机器人自主操作的先进技术,对我国自主式水下机器人的发展和应用具有重要的战略意义。相信本书的出版一定会对我国水下机器人等相关领域的研究和实践发挥重要的推动作用。

中国工程院院士 邱志明

2018年3月

译者前言

UUV(Unmanned Underwater Vehicle)可译为水下机器人、无人水下潜航器、无人水下航行器、无人潜器和无人水下运载器等。UUV利用自身搭载的各种传感器和武器,不仅可以执行深海水文环境测量、海底资源探测、水下物体回收等民用作业任务,还可以执行远程通信中继、反潜警戒、水下侦察与监视和反水雷等一系列重要的军事支援任务。由此可见,UUV作为一种重要的水下多用途平台,有着广泛而重要的民事和军事用途,在未来海洋开发和海军作战中有着举足轻重的作用。UUV主要分为遥控式水下机器人(Remotely Operated Vehicle, ROV)和自主式水下机器人(Autonomous Underwater Vehicle, AUV)两类。ROV后面拖带电缆或光缆,由人员控制进行工作。AUV自带能源,采用自治控制方式,灵活方便,可广泛应用于海洋探测、水下自主作业、侦察/监视、情报收集和跟踪等。

自主操作是一门极具挑战的、里程碑式的技术,是指机器人系统在非结构化、不确定的环境中,在执行水下作业任务,脱离人类连续监管的情况下,与目标进行物理接触的能力。目前,机器人执行作业任务时还需要人类的广泛监管,需要高带宽的通信数据链,或者必须在结构化环境中完成,这就导致了其应用范围受到了很大的限制。对于对人类有危害或人类无法到达的区域,如自然灾害或人为灾难、深海、冰层下以及星球探索等,自主操作系统可以进行探测并执行操作任务。

通常,遥控操作系统是在视觉和其他感知反馈信息的帮助下由操作员进行操控,而自主操作系统并非如此,它必须具备态势评估的能力,包括根据传感器信息进行自我校准,并在没有连续人工干预的情况下执行或重新规划一个任务序列。实现从人工遥控机器人系统到自主操作机器人控制系统的逐步过渡,具有划时代的意义。

本书论述了水下机器人自主操作的若干关键问题,其中包括 SAUVIM 研究项目中的各种实例,此项目是由夏威夷大学自主系统实验室、夏威夷 M. A. S. E. 公司以及罗德岛海军水下作战中心联合开发的。SAUVIM 凭借其独特的性能,已进入世界上最先进水下机器人的行列。SAUVIM 是一个 6 自由度的自主式水下机器人,下潜深度 6000m,配有电机驱动的 7 自由度机械臂、8 个无刷推进器、

6个CPU处理器,以及一系列各种用途的传感器,如成像声纳、摄像头、超声波跟踪器和激光测距仪等。

本书主要内容分为6章。第1章为引言,主要介绍了自主操作的基本概念和案例研究中的自主式水下机器人——SAUVIM。第2章介绍了有关多刚体系统的几何学、运动学、动力学的理论和方法,建立了SAUVIM及其机械臂的多刚体模型。第3章重点介绍了水下机器人SAUVIM逆运动学问题的求解方法,并提出了任务重构的方法,成功避免了自主操作系统中遇到的运动学奇异点和算法奇异点等问题。第4章主要研究了水下机器人SAUVIM机械臂操作系统在悬停状态下的实现问题。第5章主要研究了水下机器人SAUVIM的目标定位问题,重点解决了基于双频识别声纳(DIDSON的中等距离范围)目标识别问题和基于视频处理方法的运动目标跟踪问题。第6章主要介绍了水下机器人SAUVIA自主操作的综合应用总结,提出了SAUVIM的软件体系框架,介绍了自主操作的试验设计方法,并结合一个典型的自主操作综合应用案例,验证了前面各章节所提出的解决方案的可行性和正确性。

本书主要介绍SAUVIM自主操作的最新研究成果,其内容主要涉及水下机器人的运动控制、水下目标的识别与跟踪、水下机器人导航控制、SAUVIM机械臂自主控制系统的设计等问题。本书可作为高等院校与科研院所中从事船舶与海洋工程、制导与控制、水下目标探测与跟踪、海洋勘探与救捞、传感器技术、机器人等相关专业的本科生和研究生教材,也可作为研究机器人等领域的相关技术人员的参考书。

感谢海军工程大学兵器工程系田福庆教授、海军装备研究院杨华东高工对本书的认真审校和所提出的许多宝贵意见。感谢华中科技大学控制科学与工程系王红卫教授,海军潜艇学院龚文超讲师,海军工程大学费志方博士、曹亮博士、肖文凯博士、沈勋博士,海军试验基地谢攀助理工程师,海军工程大学潘林豪硕士、李维清硕士等为本书部分章节所做的译校和录入工作。在此一并表示诚挚的谢意。

本书的翻译过程对于我们来说也是一个很好的学习机会,但由于译者水平有限,对一些问题的理解还不够准确,书中不当之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

本书的翻译受到国家自然科学基金(11202239)、中国博士后科研基金(2012M521891)、总装备部“十二五”预研基金(51306040401)、“军队2110三期”的资助,在此一并表示感谢。

译者

2017年12月

在应用范围和空间维度上,机器人技术正在经历一场重大的变革。从占主导地位的工业领域开始,机器人现正迅速扩展至人类发展的各个领域,并且还在积极探索新的挑战。新兴的机器人将越来越多地被人类接触,并融入他们的生活,协助人类、服务于人类,共同交流,共同探索。

智能机器人的产生超出了传统机器人带来的影响,它呈现出更广泛的应用前景,这些应用扩展至不同的研究领域和学科,如生物力学、触觉论等。而反过来,在这些新兴的领域中,这些挑战也会强有力地推动机器人领域的发展,并催生出对该领域的新见解。毫无疑问,这是交叉学科中最引人注目的进步。

STAR 致力于为研究人员提供机器人领域最前沿、最有价值、最高质量的研究进展。本系列丛书旨在对机器人领域关键性研究进展进行广泛的、及时的信息传递,以促进研究人员更多的交流与合作,并促使这个快速发展的领域取得更大的进步。

Giacomo Marani 和 Junku Yuh 的这本专著阐述了在非结构化环境下,机器人在执行水下自主作业任务过程中,借助于传感器信息进行自主操作的方法。本书在阐述了水下机器人 SAUVIM 运动学和动力学模型的基础之上,进一步建立了基于任务优先级的多刚体运动控制模型,提出了目标识别和目标定位问题的解决方案,并对一些重要的案例研究进行了讨论。

本书提供了丰富的水下机器人自主操作实例和试验/仿真结果,这是 STAR 的第三个贡献,也是对其很好的补充!

Bruno Siciliano
意大利 那不勒斯市
2014 年 1 月

自主操作是一门极具挑战的、里程碑式的技术,是指机器人系统在非结构化环境中,执行水下作业(干预)任务时,在脱离人类连续监管的情况下,与目标进行物理接触的能力。这种机器人系统开拓了几种新兴市场和应用领域,包括安全救援行动、空中、水下作业、军事领域以及医疗保健行业等。

2005年3月10日和11日,在美国德克萨斯州的休斯顿,美国国家科学基金会和国家航空航天局发起了关于自主移动操作的研讨会,会议指出发展自主移动操作势必会强有力地推动科学、经济、社会的发展。自主移动操作系统可以被认为是一个具备自主移动性和自主操作性的集成系统。最近,在美国国防部高级研究计划局(DARPA)举办的挑战赛上,自动驾驶车辆和人形机器人技术已经迈向成熟。机器人在结构化的环境中,如工业环境等,已经具备了一定程度的可操作能力。然而,在非结构化环境中,基于传感器信息的自主操作仍然是极具挑战性的研究课题。本书旨在介绍这一至关重要的技术,即开发执行作业(干预)任务的自主机器人。

目前,机器人执行作业任务还需要人类的广泛监管,需要高带宽的通信数据链,或者必须在结构化环境中完成,这就导致了其应用范围受到了很大的限制,在对人类有危害或人类无法到达的区域中,如自然灾害或人为灾难、深海、冰层下以及星球探索等,自主操作系统可以进行探测并执行操作任务。

遥控操作系统,是操作员在视觉和其他感知反馈信息的帮助下进行操控,自主操作系统并不如此,其必须具备态势评估的能力,包括根据传感器信息进行自我校准,并在没有连续人工干预的情况下执行或重新规划出一个任务序列。从人工遥控操作逐渐向自主操作的转变,这种思维是十分明智的。

在本书中,最值得注意的方面是机器人系统与人为监管体系之间信息交换级别的提高。在遥控操作模式下,为了设定机械臂的位置,操作员需要借助于视觉反馈信息发送和接收低级别的交互信息。随着系统自主能力的提高,操作员可以只提供更高决策命令;由艇载系统负责低级别功能的管控(如驱动电机来完成某项特定任务)。机器人系统的自主水平与其执行特定作业任务时所需交互信息的级别息息相关。在任务执行层面,机器人系统必须具备广泛使用传感器数据处理的方法对环境进行作用和反作用的能力。

本书论述了水下机器人自主操作的若干关键问题,其中包括 SAUVIM 研究

项目中的各种实例(此项目是夏威夷大学自主系统实验室、夏威夷 M. A. S. E. 公司以及罗德岛海军水下作战中心联合开发的)。SAUVIM 凭借其独特的性能,已进入世界上最先进水下机器人的行列。SAUVIM 是一个 6 自由度的自主式水下机器人,下潜深度 6000m,配有电机驱动的 7 自由度机械臂、8 个无刷推进器、6 个 CPU 处理器,以及一系列各种用途的传感器,如成像声纳、摄像头、超声波跟踪器和激光测距仪等。

第 2 章介绍了带有机械臂的移动机器人作为多刚体系统的建模方法。鉴于已有大量的文献研究了多刚体系统的建模方法,本章仅介绍其中关键的步骤,以避免严格的数学推导,有利于读者理解后续章节的内容。

第 3 章重点介绍了机械臂的控制系统。在自主系统中,虽然在理论上可以完成所需的任务,但在实际中还必须确保机器人在工作空间内的行为可靠,如避免碰撞、系统不稳定以及不必要的动作等。控制系统还必须解决其他通用的操作问题,如面向任务空间的规划问题、任务优先级的分配问题,以及与环境交互时的动态优先级的决策问题等。

第 4 章给出了艇载机械臂系统的整体实现。基于前面各章节的理论分析,对于移动操作中的空间优化问题,我们提出了一个新的解决方案,并在 SAUVIM 中成功实现并通过了测试。第 4 章还提出了 SAUVIM 悬停的优化配置解决方案,这是水下自主作业任务的关键部分。针对工作空间和 SAUVIM 的悬停优化问题,提出了具体的、详细的解决方法,并给出了试验结果。

目标定位是自主操作的另一个关键问题。水下机器人应该具备感知能力,以完成水下的目标定位。它可以通过不同的技术来实现,如视频/图像处理、激光三维扫描仪、运动追踪器(超声波、磁性或惯性)、形状识别算法等。在水下机器人和外部环境之间的交互中,自我检校是至关重要的。第 5 章介绍了使用双频识别声纳 DIDSON(中程)和光学系统(短程)实现目标定位的方法。

第 6 章对我们的工作进行了总结,并提出了水下机器人 SAUVIM 主要的软件体系框架。在该框架下,我们可以验证前面已提出的解决方案的正确性。设计合理的 SAUVIM 软件体系框架,需要在整合所有系统组件方面做出相当大的努力。在控制系统的顶端,一种执行作业任务的半自主决策层被定义,它由一个通信接口(客户机/服务器软件体系结构)所支持,这既是任务执行层面中的编程环境,同时也是用户的操作界面。在这一章里,我们也总结了之前章节尚未提到的其他技术问题的解决方案,如电机驱动和路径规划问题等。

Giacomo Marani

Junku Yuh

夏威夷,火奴鲁鲁

2014 年 3 月

致谢

如果没有其他同仁的帮助,本书将不可能得以出版。

我们要向为我们提供宝贵学术交流、与我们有合作研究的科研人员表示感谢,他们是美国国家航空航天局喷气推进实验室 Homayoun Seraji、意大利热那亚大学 Giuseppe Casalino,韩国浦项科技大学 Wankyun Chung 和韩国国立首尔科技大学 Jinhyun Kim 等。

我们还要感谢美国海军研究办公室对 SAUVIM 项目的资助,该项目为本书提供了大量的实例和试验/仿真结果。

同时,还要感谢我们过去和现在的 SAUVIM 项目合作伙伴——夏威夷大学自主系统实验室、夏威夷 M. A. S. E. 公司以及罗德岛海军水下作战中心。

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 第1章 引言 | 001 |
| 1.1 自主操作 | 001 |
| 1.2 最新研究:自主式水下机器人 SAUVIM 自主作业 | 003 |
| 参考文献 | 005 |
| 第2章 多刚体系统的几何学、运动学和动力学 | 006 |
| 2.1 多刚体系统几何学 | 007 |
| 2.1.1 向量运算 | 007 |
| 2.1.2 坐标系 | 007 |
| 2.1.3 机器人结构几何学 | 016 |
| 2.2 多刚体系统运动学 | 019 |
| 2.2.1 机器人运动学概述 | 019 |
| 2.2.2 关节运动学 | 023 |
| 2.2.3 机器人系统的运动学 | 033 |
| 2.3 多刚体系统动力学 | 039 |
| 2.3.1 操作结构的平衡性研究 | 039 |
| 2.3.2 拉格朗日方程 | 040 |
| 参考文献 | 044 |
| 第3章 运动学控制 | 045 |
| 3.1 初始化参考速度 | 046 |
| 3.1.1 构造反馈闭环 | 047 |
| 3.2 逆运动学 | 049 |
| 3.2.1 运动速率控制求解 | 049 |
| 3.2.2 任务优先级分解 | 051 |
| 3.2.3 可操作性的度量指标 | 052 |
| 3.3 避奇异任务重构 | 054 |

| | | |
|------------|--------------------------------------|------------|
| 3.3.1 | 任务重构:单一控制变量 | 054 |
| 3.3.2 | 任务重构:带优先级的双任务 | 057 |
| 3.3.3 | 多任务重构概述 | 059 |
| 3.3.4 | 试验结果 | 061 |
| | 参考文献 | 065 |
| 第4章 | 水下机器人操作系统 | 067 |
| 4.1 | 水下机器人 SAUVIM 机械臂操作系统建模 | 067 |
| 4.2 | 任务重构中的工作空间优化 | 074 |
| 4.2.1 | 工作空间中的任务优化配置 | 075 |
| 4.3 | 水下机器人 SAUVIM 动态控制系统 | 080 |
| 4.3.1 | 水下机器人 SAUVIM 动力学 | 080 |
| 4.4 | 动态参数识别 | 083 |
| 4.4.1 | 基于扩展卡尔曼滤波算法的浮力中心识别 | 083 |
| 4.4.2 | 悬停的优化配置 | 088 |
| 4.4.3 | 算法实现 | 088 |
| 4.4.4 | 仿真结果 | 089 |
| 4.4.5 | 试验结果 | 090 |
| | 参考文献 | 092 |
| 第5章 | 目标定位 | 093 |
| 5.1 | 目标识别和定位 | 093 |
| 5.2 | 基于双频识别声纳的中等距离范围目标识别 | 094 |
| 5.2.1 | 水下目标定位模型建立 | 096 |
| 5.2.2 | 图像采集和滤波处理 | 096 |
| 5.2.3 | 匹配滤波器 | 097 |
| 5.2.4 | 水下目标定位和迭代计算 | 099 |
| 5.3 | 短距离水下目标定位 | 102 |
| 5.3.1 | 基于视频处理的运动目标跟踪方法 | 103 |
| 5.3.2 | 电缆切割演示 | 105 |
| | 参考文献 | 106 |
| 第6章 | 水下机器人 SAUVIM 自主操作综合案例研究 | 108 |
| 6.1 | 水下机器人 SAUVIM 的实时架构 | 108 |
| 6.1.1 | 第0层:硬件层 | 109 |
| 6.1.2 | 第1层和第2层:机器人执行器的底层接口 | 111 |

| | | |
|-------------|---------------------------------|------------|
| 6.1.3 | 第3层:中间控制层 | 115 |
| 6.1.4 | 第4层:高级机器编程语言 | 120 |
| 6.1.5 | 第5层:通信层 | 129 |
| 6.2 | 水下机器人 SAUVIM 自主操作应用——综合实例 | 129 |
| 6.2.1 | 阶段1:驶离码头并导航至目标区域 | 131 |
| 6.2.2 | 阶段2:搜索水下目标 | 132 |
| 6.2.3 | 阶段3:导航与下潜 | 133 |
| 6.2.4 | 阶段4:悬停(位置保持) | 134 |
| 6.2.5 | 阶段5:钩取目标(自主操作) | 135 |
| 6.2.6 | 返航 | 136 |
| 6.3 | 小结 | 137 |
| | 参考文献 | 138 |
| 附录 A | 数学补充 | 140 |
| A.1 | 旋转引理 | 140 |
| A.1.1 | 算法 | 140 |
| A.1.2 | 式(A.6)的证明 | 141 |
| A.1.3 | 式(A.1)的证明 | 141 |

引言^①

在机器人领域,一个移动平台(如水下机器人)的自主操作是一项非常具有挑战性的任务,特别是在非结构化的环境中执行任务。本章简述了这一挑战——自主操作系统,并介绍了案例研究中的自主水下试验平台 SAUVIM。

1.1 自主操作

目前,机器人执行作业任务还需要人类的广泛监管,需要高带宽的通信数据链,或者必须在结构化的环境中完成。这就导致了其应用范围受到了很大的限制。对于对人类有危害或人类无法到达的区域,如自然灾害或人为灾难、深海、冰层下以及星球探索等,自主操作系统可以进行探测并执行操作任务。

遥控操作系统,是操作员在视觉和其他感知反馈信息的帮助下进行操控,而自主操作系统并非如此,其必须具备态势评估的能力,包括根据传感器信息进行自我校准,并在没有连续人工干预的情况下执行或重新规划出一个任务序列。从人工遥控操作逐渐向自主操作的转变,这种思维是十分明智的。在本书中,最值得注意的方面是机器人系统与人为监管体系之间信息交换级别的提高。

在遥控操作模式下,为了设定机械臂的位置,操作员需要借助于视觉反馈信息发送和接收低级别的交互信息。随着系统自主能力的提高,操作员可以与任务描述层进行交互,并提供一些更高层次的决策命令;由艇载系统负责低级别功能的管控(如驱动电机来完成某项特定任务)。机器人系统的自主水平与其执行特定作业任务时所需交互信息的级别息息相关。在任务执行层面上,机器

^① G. Marani and J. Yuh, *Introduction to Autonomous Manipulation*, Springer Tracts in Advanced Robotics 102, DOI:10.1007/978-3-642-54613-6, © Springer - Verlag Berlin Heidelberg 2014.

人系统必须具备广泛使用传感器数据处理的方法对环境进行作用和反作用的能力。

在一个特定的任务中,操作员可以给机械臂提供高级别的任务命令,如切断连接器,而不是直接操作去执行任务。在这个过程中,操作员的工作是通过数据分析后决定水下机器人执行某个特定的任务,并向其发送任务命令。而底层的控制命令则以艇载子系统的预编程方式提供,系统中的本地虚拟现实模型,通过接收由低带宽信道提供的少量符号信息实现机器人系统的实际行为。

实现自主操作的主要方法就是根据行为的不同划分层的等级:底层与机器人硬件交互,中间层用于描述机械臂自主操作的控制算法,而高层可实现水下自主操作任务的描述。在这样的层级划分中,虽然 SAUVIM 机械臂的中间层控制系统可以完成理论上可行的任务,但在实际中还必须确保其工作空间内行为的可靠,如避免碰撞、系统不稳定以及不必要的动作等。此外,控制系统还必须解决其他通用的操作问题,如面向任务空间的规划问题、任务优先级的分配问题,以及与环境交互时的动态优先级的决策问题等。

面向搜索任务的水下机器人仍然是自主式水下机器人发展的主流方向。目前,关于水下机器人自主作业案例的研究文献较少。这些案例中包括了美国斯坦福大学航空航天机器人实验室研制的 OTTER I-AUV 型自主式水下机器人,早在 1996 年该型自主式水下机器人的悬停能力就在蒙特雷湾水族馆研究所的水池中通过了测试。当前和过去的研究主要集中在基于纹理图像的视觉反馈控制和实时采集的视觉处理技术、自主作业任务、水下机器人的动力学建模。如文献[1]研究了水下机器人的自主回收方法。

另一种典型的水下机器人是法国 Cybernetix 公司在 2003 年研制的 Alive,该项目得到了欧盟项目的资助,旨在研发自主式水下机器人在海底的回收能力。文献[2]对其进行了介绍。

“三叉戟(TRIDENT)”水下无人机是最新的一个关于水下自主操作的研究项目。该项目提出了在未知的、非结构化的水下环境中机器人具备多用途操作能力的新方法。在 TRIDENT 项目中,一个多用途的通用作业流程可分为两个阶段:

(1) 阶段 I (搜索)。自主水面舰船发射自主式水下机器人(I-AUV)到指定的海域进行搜索。然后,部署自主式水下机器人的任务(步骤 1),并为母舰和自主式水下机器人探测目标海域规划出一条航路(步骤 2)。母舰和自主式水下机器人组成的编队收集航行数据(海底图像和多波束探测剖面测量数据)。最后,自主式水下机器人上浮并与终端操作员取得联系,并向其发送通过声学和光学等方法获得的水下图像信息(步骤 3)。操作员使用这些图像信息选择下一步需要执行的任务(如抓取、钩住目标等)。

(2) 阶段 II (作业)。目标选定之后,母舰和自主式水下机器人的编队导航

至目标海域。然后,母舰在超短基线的覆盖范围内与自主式水下机器人保持联系,并动态确定编队和目标的位置(步骤4)。在此之后,自主式水下机器人执行搜索目标的任务(步骤5)。当目标出现在自主式水下机器人的探测范围后,目标即被确认,自主式水下机器人切换为自由航行模式(与母舰脱离),并由其机械臂完成自主操作任务(步骤6)。最后,自主式水下机器人在未获得新任务的情况下,由母舰实施回收。

本书描述了自主式水下机器人 SAUVIM 的最新研究成果。如图 1.1 所示,SAUVIM 是由美国夏威夷大学自主系统实验室、夏威夷 M. A. S. E. 公司以及罗德岛海军水下作战中心联合开发的一款用于执行水下自主操作任务的自主机器人。

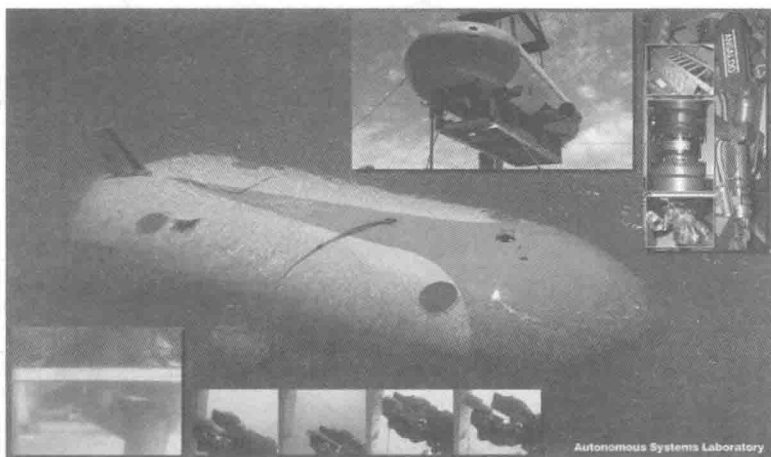


图 1.1 水下机器人 SAUVIM

1.2 最新研究:自主式水下机器人 SAUVIM 自主作业

SAUVIM^[3-5],如图 1.1 所示,涉及水下机器人的设计和制造等内容,它能够完成对水下设施的自主作业任务,而该任务通常是由遥控式水下机器人或者人为完成的。这是一种基于底层封装的开放式架构的水下机器人。它的运动是由位于 SAUVIM 中心的 8 个推进器控制的,其中:4 个垂直方向的推进器控制机器人 z 轴方向(升降)的移动;2 个内部安装的横向推进器控制机器人在 y 轴方向(侧向平移)的移动;2 个外部安装的横向推进器控制机器人 x 轴方向(纵向)的移动。SAUVIM 的底层舱室仅放置镍氢电池组,而上层的 6 个圆柱形压力舱室主要放置其航行所需的电子设备、视觉硬件设备、导航设备和任务传感器设备等。

高精度的水下导航和水下定位由法国 IXSEA PHINS 模块的光纤惯性导航