

doi: 10.7690/bgzdh.2021.08.021

一种基于 AI 机器人的海底探测网阵

田华明, 于 辉, 刘云飞

(海军航空大学青岛校区, 山东 青岛 266041)

摘要: 为获取海域海底基础目标和人设目标数据并进行特征捕捉与判读识别, 研发一种海底探测系统。利用北斗定位功能在预定海域布设携带特定探测传感的潜航机器人, 按照一定规律形成探测网阵, 根据传感器的不同, 离线或在线获取海域的水文地貌、过往船只、渔业资源及海底矿藏等基础数据, 采用卡尔曼滤波动态估计后传输到控制中心, 通过大数据分析和数据挖掘等信号处理过程, 进行态势判读、数据比对和目标识别, 监视当前海域水面或水下的航行、渔业、水文、矿藏等态势。视景仿真的结果表明: 系统的工作过程和数据处理方式能够满足数据采集、处理和工作需求, 可为开展海域长期态势分析提供可靠的数据支撑。

关键词: 分布式网阵; 目标探测; AI 机器人; 水下通信; 卡尔曼滤波

中图分类号: TN929.3 **文献标志码:** A

A Submarine Detection Network Array Based on AI Robot

Tian Huaming, Yu Hui, Liu Yunfei

(Qingdao Branch, Naval Aviation University; Qingdao 266041, China)

Abstract: For acquiring the basic targets of marine area and seabed and human-designed targets, and carrying out feature capture, interpretation and identification, research on submarine detection system. Use Beidou location function to deploy submarine robot with specific detection sensor in reserve sea area. A detect network matrix is formed based on principle, depending on different sensors data of waters hydrology and geomorphology, passing vessels, fishery resources, sea minerals is achieved by offline or online, and data is dealt with Kalman filtering and transmitted to the control center. Through big data analysis and data mining, carry out situational interpretation, data comparison and target recognition, monitor situations of current sea surface or underwater navigation, fisheries, hydrological, mineral. The visual simulation results show that the system work process and data processing mode can meet the requirements of data acquisition, processing and work, which provides data support for the long-term situation analysis of the sea area.

Keywords: distributed forms network; target detection; AI robots; underwater communication; Kalman filtering

0 引言

海洋在国家发展中具有重要的战略地位。越来越多的国家开始重视海上安全和海洋资源的科学开发。中国的海洋资源十分丰富, 还有很多未知的领域需要去探索。在探索过程中, 需要充分了解海域的水文气象、地质地貌、渔业资源、海底矿藏以及过往船只、开发状态等人类活动。当前主要采用单个声呐设备进行范围有限的信号测试, 尤其是水下, 探测距离不过几十公里, 满足不了大范围、长时间海域监测的要求。笔者构建一个基于 AI (artificial intelligence) 机器人的分布式海底探测网阵, 布设在预定的目标海域, 以潜航机器人承载的传感器单元为探测器, 针对目标海域不同的特点, 利用地磁、声呐、红外、超声等多种传感器, 在线或离线获取当前海底区域的地形特点、水温潮汐、鱼群迁徙、矿产分布等信息, 通过海底光缆或巡游设施传送到

控制中心, 对数据并进行挖掘、分析、识别, 以清晰透明地呈现神秘而复杂的海域世界, 为维护海上安全和科学合理开发利用海洋资源提供支撑。

1 系统设计

1.1 总体结构设计

如图 1 所示, 系统由 AI 潜航机器人单元、多维传感器单元、回收载具单元、通信与接收单元、数据融合和大数据处理单元、任务中心单元等 6 个子系统组成^[1]。

1.2 各部分功能设计

1) AI 潜航机器人。

AI 潜航机器人是传感器载体, 配置有电源、通信导航和一定的动力部件, 根据事先编制的程序或执行任务过程中控制中心的指令, 完成信息探测、导航定位、数据通信、布设回收等工作, 可根据环

收稿日期: 2021-05-01; 修回日期: 2021-06-10

作者简介: 田华明 (1970—), 男, 湖北人, 硕士, 副教授, 从事通信与导航技术、电子装备检测、电子设计与仿真研究。E-mail: Thm3000@163.com。

境和探测需求的变化,自主完成位置变换、探测跟踪、调整数据发送的时间等^[2]。该机器人安装有北斗导航系统,能够自主定位并智能自动巡航,具有携带、部署、回收方便等优点,有利于在目标海域进行快速散布和回收。

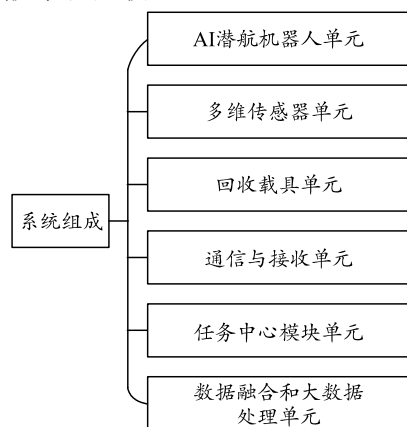


图 1 系统总体组成

2) 多维传感器单元。

根据当前海域监测的需求,在机器人上安装不同的传感器,以探测不同对象的典型特征,为海域态势分析提供第一手的信息来源。比如:探测移动舰船的采用磁感应传感器^[3],探测水文的采用温度和流速传感器,探测海底矿藏使用超声波传感器等。

3) 回收载具单元。

在执行任务前,回收载具单元将携带传感器的 AI 潜航机器人散布于目标海底区域,根据涵盖不同面积的作战海域确定散布的数量。任务结束后,将该机器人进行回收,对走失的机器人实施寻找、探测等,防止遗失造成数据的丢失。

4) 通信和接收单元。

接收来自任务中心的指令并完成相应的工作,同时通过在线或离线的方式,按照预先设置的流程向任务中心发送监测的数据。

5) 任务中心单元。

向 AI 机器人发送指令,接收机器人发送的数据。任务中心单元一般设置在网阵中心附近的船只、浮标上,既便于与机器人联系,又方便操作人员控制。

6) 数据融合和大数据处理单元。

数据融合和大数据处理单元设置在任务中心单元中,也可设置在岸上或海上母船的后方信息处理中心,将带有地理位置坐标的数据进行融合和识别,得到有用信息;然后,通过大数据分析得到所观测对象的特征数据,为相关部门提供数据和信息服务。

1.3 海底探测网阵设计

探测网阵完全采用模块单元化设计,可以根据技术进步和特定海域的目标探测需求进行更新、升级。传感器模块安装于 AI 潜航机器人单元,能够灵活地智能散布和回收,具有良好的可重用性。在海量数据分析中,采用全局型的融合系统和大数据挖掘技术,能够及时提取关键战术信息,探测网阵散布在海底,具有较强的隐蔽性;同时,通过物联网和自组网的形式进行数据交联和汇聚,使系统更加健壮,抗毁能力强。在信息传输过程中,采用无线电静默、在线或离线、借用卫星中继等方式,灵活躲避被侦察。探测网阵可在目标海域进行航行散布,使用完毕可再次通过航行方式进行回收,探测网阵散布在海底,隐蔽性好。海底探测部署和使用场景效果如图 2 所示。

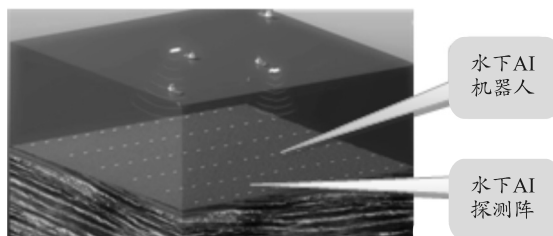


图 2 海底探测部署和使用场景效果

图中,将众多的 AI 潜航机器人单元组成一个阵型。根据海域或任务需要,散布模式可以是线状模式或者矩阵模式,可以排列成圆形、矩形或者其他形状。每个单元发送信息时,同时发送其位置信息。接收信号处理时,可以直接根据位置信息再现布阵的场景。单个 AI 智能机器人水下布设效果如图 3 所示。

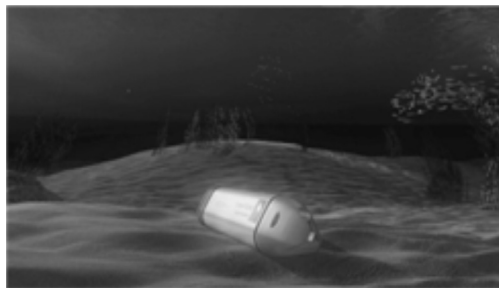


图 3 单个 AI 机器人布设效果

水下机器人包括载人水下机器人、遥控机器人和智能机器人 3 类。由于水下观测时间长、环境多变,应采用智能机器人。智能机器人集控制、推进、导航、通信、回收、传感器及探测设备等于一体^[4],能够作为一个独立行动的单元进行信息的收集和发送工作。

2 系统关键技术

海底探测网阵主要基于 AI 机器人的采用传感器技术、数字信号处理技术、信息融合技术、大数据特征提取技术等，完成传感器的部署和回收，传感器信号的处理和融合，特征信息的提取与目标识别，实现对水面、水下目标的探测与识别，以进行特征信息收集、目标识别，为海上安全、海洋资源开发等行动提供信息服务。

2.1 传感器技术

本系统主要涉及声学、光学、磁力器、压力传感器等。随着人类技术的进步和探测手段的创新，将会有更多类型的水下探测传感器得以研发和使用。传感器作为本系统的测量手段，是信息的源头，后续的各种信号处理和数据挖掘，皆建立在传感器测量的基础之上。

若要掌握某海域过往船只的情况，就可以在机器人上安装磁探仪传感器。如图 4 所示，当有潜艇、舰艇等目标存在时，机器人周围磁场会发生变化。

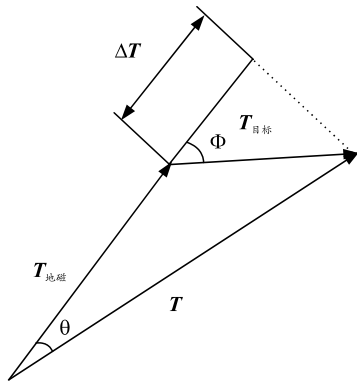


图 4 磁探传感器的工作机理

其中 $T_{地磁}$ 是没有潜艇等目标出现时的矢量， $T_{目标}$ 为潜艇、舰艇等的磁矢量，由于存在 $T_{目标}$ ，会合成新的磁矢量 T 。如(1)式所示：

$$\vec{T} = \vec{T}_{地磁} + \vec{T}_{目标} \quad (1)$$

从图 4 可以看出地磁的大小和方向都发生了变化，机器人将地磁信号变化情况记录下来，连同位置信息一起发给任务中心，计算出目标磁场的大小 ΔT 和移动的方向 Φ ：

$$\Delta T = |\vec{T}| \cos \theta - |\vec{T}_{地磁}| \quad (2)$$

$$\Phi = \arctg\left(\frac{|\vec{T}| \sin \theta}{\Delta T}\right) \quad (3)$$

根据 ΔT 的值可以推算目标的种类和属性，初步判断目标的航行企图。

2.2 数字信号处理技术

由于机器人布设在海底，信号微弱且涡流扰动较多，且由于传感器是网阵分布，数量较大，所收集到的信号较多、较杂，部分信号是无用的且存在较大偏差；因此，系统首先对声呐、电磁等传感器收集到的微弱信号进行放大、限幅、滤波，然后做归一化粗差处理，剔除不合理的数据，再采用抗衰落和最优估计算法，将符合要求的数据进行抽样、FFT 变换，按照一定的格式进行编码、加密，并将数据传给任务中心^[5]。

由于目标是移动的，所以确定位置、推算方位角和移动速度非常重要。为提高推算的科学性和准确性，笔者采用卡尔曼滤波器对这 3 个量进行动态估算^[6]。下面以位置变量为例说明滤波方程的建立过程。

首先，建立目标载体的状态方程。在地球坐标系中目标运动状态为：

$$X_1 = [x \dot{x} \ddot{x} \ y \dot{y} \ddot{y} \ z \dot{z} \ddot{z}]^T \quad (4)$$

式中状态变量 $x, \dot{x}, \ddot{x}, y, \dot{y}, \ddot{y}, z, \dot{z}, \ddot{z}$ 分别为目标在 x, y, z 3 个方向上“当前”的位置、速度、加速度，并可得到

$$\dot{X}_1 = [\dot{x} \ \ddot{x} \ \ddot{x} \ \dot{y} \ \ddot{y} \ \ddot{y} \ \dot{z} \ \ddot{z} \ \ddot{z}]^T \quad (5)$$

其次建立目标的运用模型：

$$\dot{X}_1(t) = AX_1(t) + U(t) + W_1(t) \quad (6)$$

其中：

$$A = \begin{bmatrix} A_x & 0 & 0 \\ 0 & A_y & 0 \\ 0 & 0 & A_z \end{bmatrix}, \quad A_x = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1/\tau_x \end{bmatrix}$$

$$A_y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1/\tau_y \end{bmatrix}, \quad A_z = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1/\tau_z \end{bmatrix}$$

$$U = \left[0 \ 0 \ \frac{1}{\tau_x} \overline{a_x} \ 0 \ 0 \ \frac{1}{\tau_y} \overline{a_y} \ 0 \ 0 \ \frac{1}{\tau_z} \overline{a_z} \right]^T$$

$$W_1 = [0 \ 0 \ w_x \ 0 \ 0 \ w_y \ 0 \ 0 \ w_z]^T$$

其中： τ_x, τ_y, τ_z 分别为对应 3 个坐标轴的相关时间函数； w_x, w_y, w_z 是均值为 0、方差为 $\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2$ 的白噪声； $\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2$ 的值由当前水域的情况测定或根据经验数据预置； $\overline{a_x}, \overline{a_y}, \overline{a_z}$ 分别为 3 个坐标轴的“当前”

加速度分量的均值。按照式(6)就可估算目标在不同时刻的位置、方位角和速度矢量，从而确定目标的状态。

2.3 信息融合技术

信息融合技术是将单个和多个传感器获取的数据进行关联、分析、综合、优化和估计，以获得精确的数据信息，及时评估当前态势，为精准的信息服务提供更加可靠、可信的数据支撑。本系统在不同的机器人上安装不同的传感器，分别对运动的船只、鱼群、水文、矿产进行探测，回收的数据有电磁信号、电声信号、图像信号等多种形式，通过信息融合技术，将不同目标类型的信号根据相关性进行不同时间和不同空间观测值的融合，相互印证、不断自我修正并获得更精确的结果，使监测的结果更加符合目标的实际。信息融合有 2 种方式：1) 局部的、自主的融合系统，是从同一平台的多路传感器收集数据进行融合；2) 区域或全局的融合系统，是对具有更大空间差、时间差的传感器进行综合、相关处理^[7]。由于本系统采用探测网阵式，根据海域环境和目标态势的需求，布设的传感器种类多，要监测的目标种类多、范围大、时间长，因此采用全局的融合系统。

2.4 大数据特征提取技术

针对机器人传回的海量数据，需对所有数据进行甄别、处理。一是采用数据提取技术：采用机器学习、模式识别、统计学和数据库等方法，自动分析获取的传感器融合信息数据，分析水面水下目标对象的特征，对所有数据进行甄别，做出归纳性的推理，让数据的形态更加符合客观。二是数据挖掘技术：主要采用聚类、回归分析和基于关联规则的偏差分析等方法^[8]，从大量的、不完整的、有噪声的甚至模糊、有干扰的实际测量数据中，提取隐含在其中但又是潜在有用的信息，如矿产的能量谱、海水流速流向、渔业分布图等，比对其特征，进行目标识别，给用户提供更加直接的信息。

3 系统工作过程

系统工作过程包括 AI 机器人的工作流程和信息处理过程。

3.1 AI 机器人的工作流程

由于是在海域中开展目标监测，环境条件恶劣，系统工作流程复杂，特别是机器人的布设、信息采

集、数据处理、信息发送、回收等环节，任何一个环节的失败将造成系统工作的失败^[9]。图 5 是一次典型任务的工作流程。

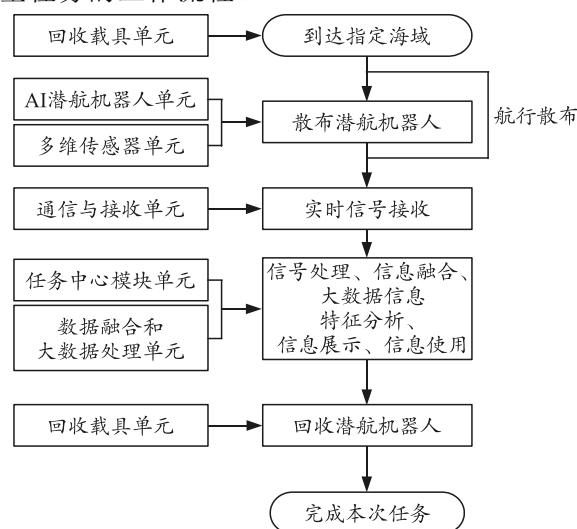


图 5 AI 机器人工作流程

根据任务需求，带有回收载具单元的船只将 AI 潜航机器人运送到目标海域进行投放，在 AI 潜航机器人上植入北斗导航定位系统，自动巡航到指定海域再自行下潜布设^[10]，单个多维传感器单元在工作时，使用传感器收集信号，并通过专用信道进行信号传输，多个机器人单元通过物联网和自组网的形式进行数据交联和汇聚，使系统更加健壮、可靠，抗毁能力强^[11]。信道可以是各种适合水下的无线和有线信道，也可以通过定向卫星信号进行中转或中继传输，最后由母船或其他终端接收信号。

数据融合和大数据处理单元接收到信号以及空间位置和时间信息，进行信号的特征分析、特征数据库比对，完成信息融合、特征提取、特征场绘制、目标识别，并通过数据链等手段，传输到后方信息处理中心。任务结束后，由母船将机器人回收，或由任务中心发送指令，机器人上浮、启用北斗导航系统和动力装置，巡航到指定地点回收。

3.2 信息处理过程

海底探测网阵使用 AI 智能潜航机器人进行电磁、声呐等信号的探测，通过无线和有线的方回收，进行信号交换，得到信号和散布位置后，通过单信号或者多信号融合，得到各个传感器单元的探测信息。探测信息经过大数据分析，进行时域、空域、频域的分析，再现目标特征场的“景象”，根据预知的或经过确认的目标特征进行目标判读和识别。信息收集、处理、传输的过程如图 6 所示。

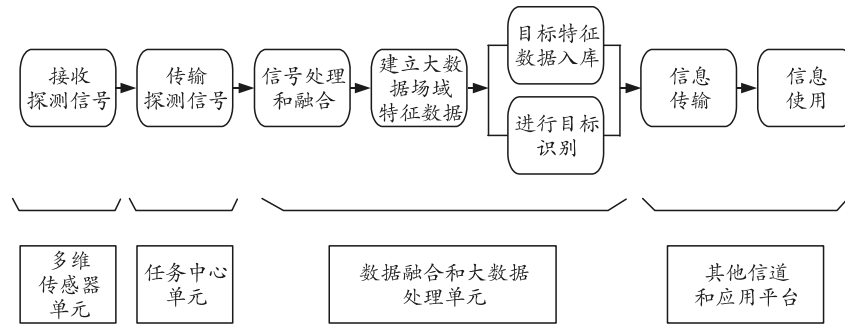


图 6 信号与信息处理过程

系统根据所配置的多维传感器单元,进行电磁、水声、场压等信号接收,得到的信号经过数字化压缩后,传输给任务中心模块单元,通过数据融合和大数据处理系统软件,进行融合、特征重建、大数据识别等处理,最后形成有效信息,存入数据库或通过专用信道发送给用户平台使用。

4 结束语

基于 AI 机器人的海底探测网阵以灵活部署方式构建目标海域的信号采集探测阵,是一种便携、智能的水下传感器系统,汇集了机器人控制、推进、导航、能源、密封、回收、传感、探测、通信以及地图匹配、自组织网、信息处理、数据挖掘、目标识别、遇敌自毁等高科技,可针对目标海域进行态势监测,用于目标海域或热点海域、水面和水下目标的监视与特征分析,平时用于矿产渔业资源开发、水文气象监控,战时用于海域封锁,为达成战略、战术目的服务^[12]。随着北斗导航系统功能的完善和人工智能水下机器人载具技术的发展,可实现水下机器人智能导航、水下多维度传感器探测、水下目标信息获取^[13],通过智能化的海底探测网阵建立水下的水文、矿产、渔业等动态数据库,在国防和经济领域均具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 糜旗. 网络安全态势感知平台架构设计[J]. 兵工自动

化, 2021, 40(1): 17-21.
 [2] 赵帅, 刘伯运, 李志辉. 一种河道巡逻机器人[J]. 兵工自动化, 2018, 37(11): 81-83
 [3] 邓鹏, 张坚, 林春生. 航空磁探中水下目标的自适应探测方法[J]. 舰船科学技术, 2012, 34(3): 76-79.
 [4] 文瑞桥, 杨梦鸥, 刘涛, 等. 机器人的运动时变可靠性分析[J]. 工程设计学报, 2018, 25(1): 50-54.
 [5] 欧明敏, 易金, 武义. 一种复杂环境下的运动目标检测方法 & FPGA 实现[J]. 通信技术, 2020, 53(12): 3128-3133.
 [6] 王明月, 杨俊强, 毛征, 等. 动态背景下基于运动矢量补偿的目标检测[J]. 兵工自动化, 2019, 38(4): 6-9.
 [7] 金丽宏, 吕玉婷, 汪耀, 等. 基于部分最小二乘岭估计的粗差定值定位[J]. 测绘工程, 2016, 25(6): 62-64.
 [8] 刘娜, 王莉. 基于关联规则的远洋舰船运行监控大数据挖掘方法[J]. 舰船科学技术, 2019, 41(9): 172-174.
 [9] 吕志刚. 一种无人水下航行器智能自救系统的研制[J]. 舰船电子工程, 2019, 39(1): 143-146.
 [10] 李士刚, 常鹏. 水下北斗精确导航定位系统技术研究[J]. 指挥控制与仿真, 2020, 42(1): 124-128.
 [11] 王旺, 赵海军, 姜暖. 导航信息处理中滤波算法稳定性评估方法[J]. 指挥控制与仿真, 2018, 40(1): 62-66.
 [12] 李兰瑞, 李鹏, 刘天宇, 等. 水声信号检测与识别技术研究现状[J]. 通信技术, 2020, 53(12): 2904-2907.
 [13] 石建飞, 王文琮, 李伟. 基于北斗定位的水下导航仪软件设计[J]. 电声技术, 2019, 43(12): 23-25.