

doi: 10.7690/bgzd.2018.04.018

# 一种水下巡逻机器人设计与实现

杨波<sup>1</sup>, 张振业<sup>1</sup>, 高鹏<sup>1</sup>, 王兆仁<sup>2</sup>

(1. 海军工程大学兵器工程系, 武汉 430033; 2. 海军工程大学电气工程学院, 武汉 430033)

**摘要:** 针对目前如何实现水下巡逻、水下作业等问题, 介绍一种可对水中环境实时监控并在水下进行作业的巡逻机器人。采用半球罩加三舱式设计, 模块化设计分为控制模块、动力模块、探测模块、导航模块和水下作业模块, 并通过实验进行验证。实验结果表明: 该机器人具有功能实用, 操作简单, 航行稳定, 机动性强, 易于携带、回收等优点。

**关键词:** 水下巡逻; 自主导航; 多维运动; 姿态实时显示

**中图分类号:** TP24 **文献标志码:** B

## Design and Implementation of Underwater Patrol Robot

Yang Bo<sup>1</sup>, Zhang Zhenye<sup>1</sup>, Gao Peng<sup>1</sup>, Wang Zhaoren<sup>2</sup>

(1. Department of Weapon Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;

2. College of Electrical Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** In view of how to realize underwater patrol, underwater operation and so on, this paper introduces a patrol robot which can monitor the water environment in real time and operate in underwater. Use hemispheric hood and three-compartment structure design. The modular design is divided into control module, power module, detection module, navigation module and underwater operation module, and verified by experiment. The experimental results show that the robot has the advantages of practicality, simple operation, stable navigation, strong maneuverability, easy to carry and recycling.

**Keywords:** underwater patrol; self-help navigation; multidimensional movement; posture real-time display

### 0 引言

世界上首台无人潜航器(时称水下机器人)诞生于20世纪50年代。最近美军在中东第5舰队披露了开发使用无人水下航行器的部队,正在试验一种智能型侦察监视“近海战场感知-滑行者”<sup>[1]</sup>。哈尔滨工程大学在“十二五”国家863计划支持下,完成了300 kg级小型自主水下航行器(智水-IV)的研制,在蓬莱海域实现了自主连续航行110 km和自主布放等多项功能演示,最大潜深达1 000 m<sup>[2]</sup>。

针对目前如何实现水下巡逻、水下作业等问题,笔者研制了一种水下机器人,携带多种探测装置与传感器,并装有可用于进行简单水下作业的机械手。

### 1 结构设计

水下机器人采用三舱式设计,如图1所示。优化舱内空间利用率,具有良好的稳定性、防水性,可以适应复杂的水下环境。前端采用半球罩,可减少航行阻力,并装配有6台功率为156 W的电机,可通过电机的多种运转方式实现机器人在水中完成多维度运动,如前后俯仰、左右翻滚等复杂航行

动作,并具备快速机动性。

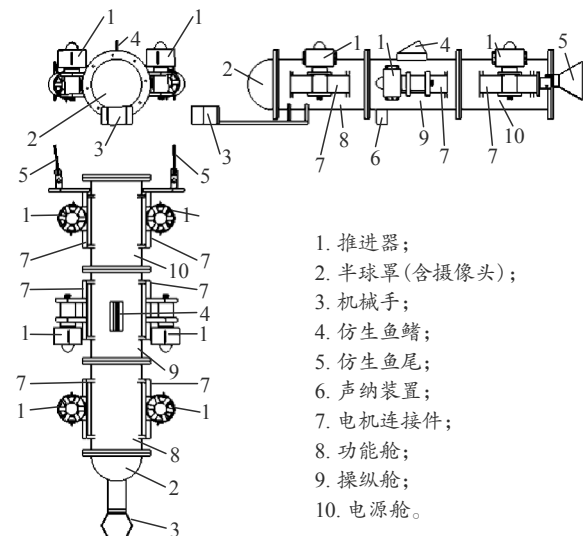


图1 基本结构

#### 1.1 载体舱设计

对该机器人主体部分外形进行了合理选择<sup>[3]</sup>。初步估算航行器在水中成中性时所需的排水量:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{15 \text{ kg}}{1 \text{ kg/L}} = 15 \text{ L} \quad (1)$$

收稿日期: 2017-12-01; 修回日期: 2018-01-11

作者简介: 杨波(1994—),男,河北人,回族,从事舰炮保障技术与指挥研究。

其中： $m$  为机器人质量； $\rho$  为机器人航行水域液体密度。

如图 2，主体的首端是直径为 140 mm 的半球体，中间部分为直径 140 mm，总长度为 750 mm 的 3 段圆柱体，其加工较简单、成本低廉、空间利用率较高，有较好的水动力性能。主体外型的各项参数<sup>[4]</sup>如表 1 所示。

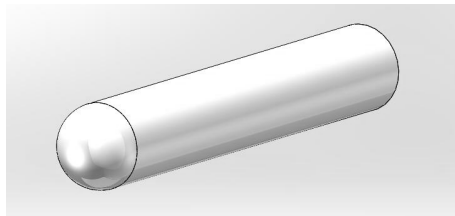


图 2 主体

表 1 机器人主体外型的各项预估参数

参数	数值
长度/m	0.95
质量/kg	15~16
机身/mm	直径：140，半球罩+圆柱体
螺旋桨	盘面比：0.48，最大直径：0.15 m
鱼尾	底角：60°，底边长：15 cm，高：8 cm
航速/kn	低速：2，高速：4

### 1.2 推进系统设计

推进器使用导管螺旋桨结构较简单，在普通螺旋桨外装一个圆形套筒，如图 3 所示。导管使螺旋桨处的水流减速，称为减速导管。这种减速水流的导管用以增加作用在螺旋桨叶上的静压力，导管将产生一个负的推力，减少叶梢骚扰的噪声。与普通螺旋桨相比，导管螺旋桨的效率，推力大，因此特别适合于水下巡逻机器人。



图 3 导管螺旋桨

## 2 控制系统设计

该机器人有 2 种控制模式：自主导航模式和遥控模式<sup>[5]</sup>。本系统采用 K60 单片机作为机器人的主控制单元，选用北斗作为导航控制器，选用可发射红外线的高清摄像头作为机器人采集周围图像信

息的装置。图像信息通过图像传输模块向上位机图像接收模块传输信息，在上位机屏幕上显示。控制原理如图 4 所示。

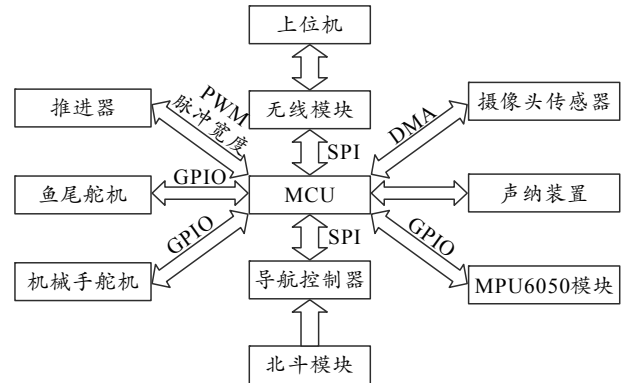


图 4 控制原理

机器人在进行自主巡逻时开启自动导航模式，按照操作者设定好的路线在水面或水下航行。机器人的上位机上装有显示器，时刻显示摄像头传感器所收集到的图像信息。操纵人员通过观察屏幕上显示的信息判断是否按照计划路线航行，通过操纵上位机上的控制设备对机器人进行控制，驱动机器人特种功能模块完成特种任务，如水下打捞、采样等。

## 3 实验结论

### 3.1 水下侦查与巡逻

通过摄像头与声纳采集机器人周围视觉与声学信号传递给单片机，单片机对信号处理后向上位机进行实时传输。可通过摄像头与声纳的配合使用，使操作人员实时得到水下的视觉图像与声学图像，通过声学图像发现目标并判别目标方位与大小，然后抵近目标，通过视觉图像精确识别并观察目标，实现侦查距离的远近结合，从而更加高效地完成水下侦查与巡逻任务<sup>[6]</sup>。

### 3.2 自主导航

在机器人所需巡逻的水域内计划航行线。机器人上装有北斗用户机射频模块，计算机可计算出机器人所在坐标、目标坐标方位差、轨迹方向和速度等数据。通过对机器人 2 台水平推进器功率及转向的控制，使机器人的航向调整为目标航向，减轻了操作者的工作负担。

机器人通过摄像头和声纳对水中的声光信息进行采集并传递给单片机，单片机对图像信息处理后发送给上位机。操纵者通过观察监视屏了解水中环境，一旦出现紧急情况，操纵者可以将机器人切换到遥控模式，通过对摇杆的操作，实现对机器人

的控制。路线规划如图5所示。

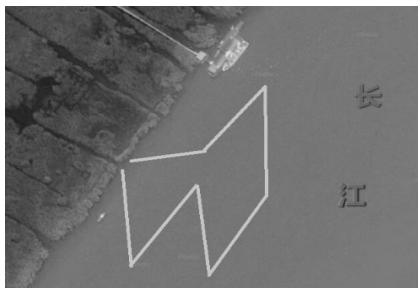


图5 北斗导航路线规划

### 3.3 水中多维运动

机器人配备了4台垂直方向电机和2台水平电机，除完成基本航行动作外，还可通过控制4台垂直方向电机正反转的多种组合方式来操纵航行器完成左右翻滚、前后俯仰等多维运动，可满足水下不同环境航行需求，机动性高。

### 3.4 实时姿态显示

机器人装有MPU-6050传感器<sup>[7]</sup>，集成了3轴MEMS陀螺仪、3轴MEMS加速度计，以及1个可扩展的数字运动处理(digital motion processor, DMP)。MPU-6050对陀螺仪和加速度计分别用了3个16位的模数转换器(analog-to-digital converter, ADC)，将其测量的模拟量转化为可输出的数字量。为了精确跟踪快速和慢速的运动，传感器的测量范围都是用户可控的，陀螺仪可测范围为( $\pm 250$ 、 $\pm 500$ 、 $\pm 1\ 000$ 、 $\pm 2\ 000$ )( $^{\circ}$ )/s(dps)，加速度计可测范围为( $\pm 2$ 、 $\pm 4$ 、 $\pm 8$ 、 $\pm 16$ )g。

操纵员通过使用计算机上的Labview<sup>[8]</sup>软件对机器人3维运动姿态进行解算，并进行实时监控，灵敏度高、延迟小。姿态显示界面如图6所示。



图6 姿态显示界面

### 3.5 水下作业

机器人前端装有机械手<sup>[9]</sup>，与舵机结合，通过将对程序写入单片机，即可利用摇杆操纵机械手

张开与闭合，实现机器人在水下完成投放、打捞物品和水底物质采样等作业。

## 4 结论

1) 该机器人采用低阻外形设计，并配备6台电机，平均密度近似为 $1\text{ kg/dm}^3$ ，大部分质量位于中段舱下侧，降低了机器人的重心；因此，无论是在水面或者是水下，机器人都能快速、稳定地航行。同时，容量为80 Ah，额定电压为24 V，最大输出电流为40 A的锂离子电池也为机器人的续航能力、动力系统提供了保障。

2) 该机器人可使用北斗导航规划航行路线，并通过摄像头与声纳对机器人航行路线进行实时监控，通过观察实际航线与计划航线，控制机器人按照计划航线航行，一定程度上降低了操纵机器人的难度，并使机器人更高效、有目的地进行水下巡逻和作业。

3) 该机器人打破了传统水下作业和采样的模式，无需人员入水，只需操纵者通过简单的摇杆控制机器人，即可利用机器人前端的机械手实现物体的投放与打捞、水体采样等作业。6台电机的不同运转模式又可使机器人做出不同航行姿态，以实现复杂环境或狭小空间内的水下作业。

## 参考文献：

- [1] 邓启文, 刘书雷, 沈学石. 无人装备发展新动向及影响研究[J]. 装备学院学报, 2016, 27(1): 76-79.
- [2] 潘光, 宋保维, 黄桥高. 水下无人系统发展现状及其关键技术[J]. 水下无人系统学报, 2017, 25(1): 44-51.
- [3] 蒋新松, 封锡盛, 王棣棠. 水下机器人[M]. 沈阳: 沈阳科学技术出版社(水下机器人), 2000: 35-58.
- [4] 韩晓东, 王坚茹, 孟秀清. 水下航行体几何外形对阻力影响的数值模拟[J]. 研究与设计, 2011, 38(9): 15-22.
- [5] 廖煜雷, 庞永杰, 庄佳园. 无人水面艇嵌入式基础运动控制系统研究[J]. 计算机科学, 2010, 37(9): 214-217.
- [6] 张千伟, 张龙. 仿生四足机器人结构设计及运动学分析[J]. 兵工自动化, 2017, 36(5): 73-76.
- [7] 李臣龙, 强俊. 基于STM32和MPU6050姿态解算的研究与实现[J]. 佳木斯大学学报(自然科学报), 2017, 35(2): 295-298.
- [8] 张昆, 张铁民, 廖贻泳. 基于Labview的无人机飞行状态实时监测评估系统设计[J]. 农业工程学报, 2016, 32(18): 183-189.
- [9] 侯进旺. 基于单片机的机械手控制系统设计[J]. 科技通报, 2016, 32(7): 108-112.