

Design of Ocean Rescue Robot Based on Pressure Swing Adsorption Principle

Ke Wu Wanyi Xie Xianxian Liu Yang Mao Mengyao Wu

Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400000, China

Abstract

The ocean is the least understood area of human so far, in order to cope with the sudden dangerous accidents on the ocean, it is very important to improve the Marine rescue force. Inspired by the structure of the special suction cup of the dorsal fin of the Indian fish, we applied its adsorption mechanism to the product and designed the bionic ocean rescue robot of the Indian fish. The overall shape of the robot is shark structure, the abdomen is designed to imitate the suction cup structure of the printed fish, the soft lip ring is designed, and the carbon fiber spines are used to imitate the fins, greatly improving the friction and adsorption time; In terms of drivers, SMA drivers with low driving power and high driving force are selected. In the aspect of communication, the design of underwater acoustic communication + auxiliary ship is adopted, combined with the underwater stereo camera device rotating with double cameras, to realize the exchange of rescue information, and make up for the underwater receiving depth limit. The power system adopts four power thrusters arranged symmetrically. The control system design of the robot is determined by comparison and selection method. As for the air bag, Kevlar reinforced rubber and coconut shell fiber /PP composite materials are used, and the dorsal fin is foldable. The gas generation of the air bag is realized by pyrotechnic gas generator and azide gas, and the air bag anti-accidental explosion design is added.

Keywords

robot; adsorption mechanism; communication technology

基于变压吸附原理的海洋救援机器人设计

吴可 谢宛逸 刘纤纤 毛杨 吴梦瑶

重庆交通大学, 中国·重庆 400000

摘要

海洋是人类至今了解最少的领域,为应对海洋上的突发危险事故,提升海上救捞力量至关重要。受启发于印鱼背鳍特殊吸盘的结构,我们将其吸附机理运用于产品之上,设计完成了印鱼仿生海洋救援机器人。机器人整体外形呈鲨鱼结构,腹部模仿印鱼吸盘结构,并用碳纤维小刺模仿鳍片,大幅提升了摩擦力和吸附时间;驱动器方面则选用驱动电压低、驱动力大的SMA驱动器;通信方面,采用水声通信+辅助船的设计,并结合双摄像头旋转的水下立体摄像装置,实现救援信息的交流,并弥补水下接收深度限制;动力系统采取四个动力推进器对称布置的设计,通过对比择优法确定了机器人的控制系统设计。而在气囊方面,则采用凯夫拉加强橡胶及椰壳纤维/PP复合材料。

关键词

机器人; 吸附机理; 通信技术

1 引言

自动化控制系统和移动机器人的结合运用在稳步增长。人们受到了如章鱼、海龟等水下生物的启发,研究出了各类水下仿生机器人。据调查显示,溺水仍然是世界上第二大意外死亡原因^[1],因此,自动控制水下救援机器人的创新设计已经成为水下救援系统发展的重要趋势。

2 机器人总体结构设计

该机器人整体外形为仿鲨鱼结构,机身呈流线型,尾

部设有马鲛鱼尾部推进器;机器人最大外径 $D=184\text{cm}$,长度为 288cm ,选用9.4寸螺旋桨;机器人腹部选用仿印鱼吸盘,靠吸盘吸附落水人员以配合救援工作,如图1所示。

2.1 仿印鱼式变压吸盘设计

2.1.1 吸附机理

吸盘的密封性对于吸盘内负压至关重要,弹性体边缘可以形成被吸附面的对称形从而达到密封,同时边缘具有一些特殊结构。如章鱼吸盘弹性体边缘具有放射状凹槽、突起及一圈松软组织,可通过收缩或膨胀使得与吸附表面充分接触^[2]。生物吸盘吸附力的大小通常取决于吸盘空腔内负压的大小,强有力的肌肉组织使得空腔体积发生变化从而产生足够大的负压。

【作者简介】吴可(1989-),男,中国重庆人,博士,中级讲师,从事计算力学、流体力学研究。

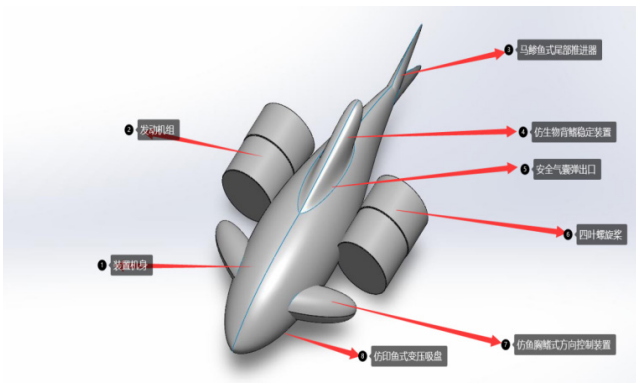


图1 海洋救援机器人示意图

所以仿生吸盘的基本结构需要包括：弹性体材料围成的密封空腔，保证密封的弹性体边缘，及防止弹性体边缘脱离的刚性支撑体和吸盘驱动器。多重比较后，我们决定参考印鱼背部的吸盘。印鱼头部有一个特殊的吸盘，呈椭圆而扁平状。吸盘周围有一圈软唇圈，内部有由盘中央向两侧裂生成的鳍片^[3]。

当吸盘贴在物体表面时，软唇圈和鳍片会立即竖起，挤走盘中的水，使得吸盘成为真空小室。此时吸盘内部对称排列的鳍片间形成的独立密闭腔体进行了局部吸附，而外部柔软的唇圈形成整体的冗余吸附^[4]。

2.1.2 吸盘驱动选择

吸盘需要有足够的输出力和输出位移，并具有合适的驱动频率。通过对 SMA、IPMC 和 EAP 的对比，IPMC 驱动器仅能产生 $9.8 \times 10^{-4} \sim 3.92 \times 10^{-2} \text{N}$ 的力，而 EAP 的驱动电压高达上千伏，虽然 SMA 的驱动效率较低，但其优点也众多，如驱动电压低、驱动力大、无噪声，同时它的力学行为和生物骨骼肌十分相似。SMA 弹簧可以获得更大的位移，从而使得体积变化更大，得到的负压更大^[5]。

2.1.3 吸盘结构设计

水下救援机器人的腹部模仿印鱼背部吸盘结构，也为吸盘外围设计一层软唇圈，用碳纤维小刺模仿鳍片。当吸盘内部空气抽离后可形成密闭腔体。同时小刺可变换角度，从而增加摩擦力^[6]。

碳纤维小刺选用北航软体机器人实验室与哈佛大学 Robert Wood 实验室共同研发的材料，它利用高精度激光加工技术实现了高精度的激光加工切割碳纤维^[7]。

将碳纤维小刺与软体制动器控制的薄片相连。通过测试发现，我们的仿生原型可以附着在各种表面上并产生相当大的拉力，高达圆盘原型重量的 340 倍。

2.2 信息交互系统设计

2.2.1 水下通信技术

水下通信技术选用可参照潜艇，水下救援机器人可用的通信技术有：超长波通信、甚长波通信、短波通信、超短波通信、微波通信和水声通信。经多种通信方法的比较，同时结合对通信速度、双向通信等要求，对水下救援机器人选

用水声通信实现其与地面接收设备交流救援信息。同时在水面上设置辅助船只作为水上传输设备，并配置水声通信装备发送信号与机器人通信，可弥补水下接收深度的限制。

2.2.2 水声通信模块

水声通信模块包括：辅船定向 GPS 模块，辅船水声通信机、工控机、缆绳系统以及在机器人上的载体水下通信机。

辅船定向 GPS 模块设置在辅船上，通过线缆与工控机连接，将辅船的位置等信息发送给工控机。而水声通信机通过缆绳悬挂在辅船底部，且通过串口与工控机相连，可以接收机器人发送的导航信息（水平坐标、深度、速度、航向角）和传感器信息，并将其发送给工控机，同时将工控机传回的辅船位置信息以及操作员的救援指令发送至水下通信机。

2.2.3 水下图像采集及处理

机器人的水下摄像是带有双摄像头旋转装置的主体（即机器人的头部眼睛），所述双摄像头旋转装置包括水平转动电机，上下转动电机和左、右摄像头。摄像头选用 OV7725 摄像头模块，捕捉机器人前方的图像并记录，通过水下通信机传到辅船上的水上通信机，接着传入工控机和地面接收装置，进行图像数据的分析处理。

利用摄像头反馈数据信息，而工控机具有触摸显示屏，将摄像头传回的画面呈现在显示屏上，操作人员可以根据画面调控机器人，实现救援流程。图像采集是处理器借助图像传感器获取数字化图像，即将模拟图像进行采样和量化的数字化过程。模拟的图像经过数字图像传感器采样后，将空间上连续的图像转化为离散的采样点。

2.3 动力系统设计

动力系统装置采取三叶全浸没式螺旋桨作为其核心动力部件，将其嵌入空心驱动轮内侧。空心驱动轮由齿轮组和夹紧装置组成。选用防水无刷电机作为此驱动装置的动力输出装置，其具有速度快、噪音低、控制方便等优点。此水下机器人包含六组此类驱动装置，两个驱动装置布置于机器人两侧，姿态控制由此驱动装置的螺旋桨运动产生多向推力，以此控制机器人的运动方向，另外四组驱动装置则放置于机器人底部，控制机器人上下运动。

2.4 控制系统设计

设计方案包括硬件电路设计和软件设计两部分。海洋救援机器人的工作原理为通过遥控器上的单片机依靠 A/D 模数的转换来实现对摇杆上的角度信号的读取，再经过一系列的分析转换将角度信号与其他一些附加指令打包为一长串的数据，通过 SPI 协议写入无线模块里；接着遥控器里的模块通过指令来进行模块间的通讯，然后将数据发给救援机器人，机器人接收到数据后对发送模块进行应答同时发送指令到机器人的中央处理器，来实现对海洋救援机器人的智能控制。

2.5 气囊的选择与设计

2.5.1 气囊材质——凯夫拉加强橡胶

这种新型材料密度低、强度高、韧性好、耐高温、易

于加工和成型,使用凯夫拉材料时重量可以减少一半,并且凯夫拉层的韧性是钢的3倍,经得起反复撞击。凯夫拉品牌产品材料坚韧耐磨、刚柔相济,具有刀枪不入的特殊本领。

2.5.2 气囊盖板——椰壳纤维/PP 复合材料

椰壳纤维具有可降解性,对生态环境不会造成危害,同时椰壳纤维韧性强,可以代替合成纤维用作复合材料的增强基。椰壳纤维/PP 复合材料满足作为气囊盖板材料所需的力学性能要求。

2.5.3 气囊的防误爆设计

为提升装置防水能力,需解决装置在水下可能出现渗水、误爆的问题。装置外增设一层特殊橡胶制成的保护外膜,以保证装置内部的设备可以在水下正常工作。气囊结构气囊壁厚:2~4mm,气囊未充气时体积:半径为30cm的球状(约81L)气囊预期膨胀体积:直径为1m的球状(约为1000L)。

2.5.4 气囊的控制系统

当吸盘成功吸附以后,传感器收到吸附完成的指令,并立即向气囊的控制单元发送撞击信号,当气囊控制单元接收到传感器的信号后,会向气囊的充气装置发出指令,点火装置点火,并产生爆炸,其中爆炸产生的气体快速充满气囊。

2.5.5 气囊在水中的运行速度

实际充气上浮的过程包括:发动机停车—接收上浮指令—气囊充气—预定膨胀体积达到—排气稳压维持浮力—航行体上浮至水面。

水下航行体在完成任务后,调整航行速度、姿态角、发动机停止,气囊产生浮力带动航体上浮。

3 机器人模型的制作

利用SW完成了3D建模,3D打印结果如图2、图3所示。

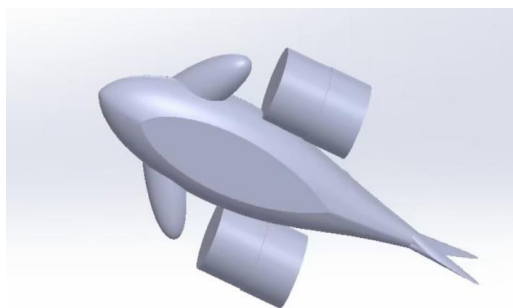


图2 海洋救援机器人3D建模图

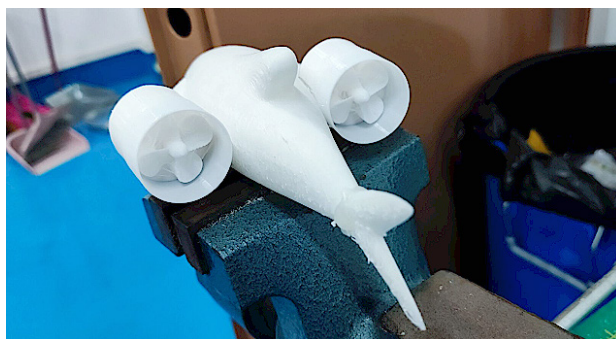


图3 海洋救援机器人3D打印模型

4 结语

基于变压吸附原理的海洋救援机器人设计在一定程度上解决了水下救援的难点。它具有可遥控、速度快、浮力大、耐冲撞的优势,可以弥补传统水上救援的不足,如无法快速、准确到达溺水者位置,无法保障救生人员自身安全等,在危险的环境中能拥有出色的救援表现。

参考文献

- [1] Almadhoun R, Taha T, Seneviratne L, et al. A survey on inspection structures using robotic systems[J]. Int. J. Adv. Robot. Syst, 2016, 13.
- [2] Wang L, Wang H. A survey on insulator inspection robots for power transmission lines. In Proceedings of the IEEE 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry[C]// Jinan, China, 11-13 October 2016.
- [3] Meddings D, Hyder A A, Ozanne-Smith J, et al. Global Report on Drowning, Preventing a Leading Killer[R]. World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2014.
- [4] 胡冰山,王立文,付庄,等.带仿生吸盘的微型爬壁机器人设计及其吸附特性[J].哈尔滨工程大学学报,2009,30(9):1012-1017.
- [5] MENCASSI A, DARIO P. Bio-inspired solutions for locomotion in the gastrointestinal tract: background and perspectives[J]. Philosophical transactions of the Royal Society. Mathematical, physical, and engineering sciences, 2003, 361(1811): 2287-2298.
- [6] IAN D WALKER, DARREN M DAWSON, TAMAR FLASH, et al. Continuum Robot Arms Inspired by Cephalopods[C]// Unmanned ground vehicle technology VII, 2005:303-314.
- [7] 孙溥茜.时隔五年,北航鲫鱼软体吸盘机器人取得新突破[J].机器人产业,2022(4):40-43.