

doi: 10.7690/bgzdh.2020.03.020

一种水面垃圾清理机器人

张国洲¹, 朱晨炜¹, 卢加津¹, 高海宁¹, 刘东²

(1. 海军工程大学动力工程学院, 武汉 430033; 2. 海军工程大学电气工程学院, 武汉 430033)

摘要: 为高效开展水域治理, 设计一种双体船式的基于水流流动性的水面垃圾清理机器人。详细阐述该机器人所能实现的功能、机械结构和工作原理。该机器人主要依靠水泵提供动力形成局部水流带动垃圾流入垃圾清理舱内, 以达到清理垃圾的作用。结果表明, 该机器人适合多种复杂水域环境, 具有稳定性强、作业效率高、原材料绿色环保等优点, 可广泛应用于水域治理领域。

关键词: 水面清理; 无线遥控; 智能导航; 高效环保; 自动流入

中图分类号: TP24 **文献标志码:** B

Water Surface Garbage Cleaning Robot

Zhang Guozhou¹, Zhu Chenwei¹, Lu Jiajin¹, Gao Haining¹, Liu Dong²

(1. School of Power Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;

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

Abstract: In order to efficiently carry out water treatment, a catamaran-type water surface garbage cleaning robot based on water fluidity is designed. The function, mechanical structure and working principle of the robot are described in detail. It mainly relies on the submersible pump to provide power to form a local water flow to drive the garbage into the garbage cleaning cabin to clean up the garbage. The results show that the robot is suitable for a variety of complex water environments. It has advantages of strong stability, high operating efficiency, environment-friendly raw materials and environmental protection and can be widely used in the field of water treatment.

Keywords: water surface cleaning; wireless remote control; intelligent navigation; high efficiency environmental protection; automatic inflow

0 引言

海洋因其空间广阔成为人们生活和生产的活动场所, 但水面漂浮垃圾的问题也接踵而至。偌大的江河湖海水面之上, 漂浮着各种垃圾, 严重影响水域环境。为更绿色地利用水资源, 各国对水面的垃圾清理也较为重视, 但效果不是太理想。

为清理水面漂浮垃圾, 相继出现了各种水面垃圾清理船。大部分机器人^[1]是直接将垃圾收入, 效率不高, 清理不够干净。为更好地清理垃圾^[2]并提高效率, 笔者研制一种让垃圾自动进入的流入式水面垃圾清理机器人。

1 结构设计

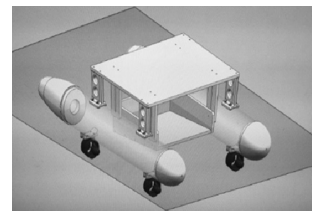
如图 1 所示, 流入式水面垃圾清理机器人由垃圾清理系统、推进系统和控制系统等部分组成, 依靠水的流动性原理^[3], 采用双体船式设计, 优化主体与附体的形态参数^[4], 极大提高了稳性并降低航行阻力, 适应于多种复杂水域环境。

载物台前布置有摄像头和天线, 载物台中部放

置 24 V、16 Ah 大容量锂电池, 控制电路、导航设备在电子舱中放置于载物台上; 推进系统由推进电机、导管螺旋桨和螺旋桨保护罩组成; 垃圾清理系统由垃圾收集斗、高度调节板和水泵组成, 置于机器人两浮筒之间, 水泵位于垃圾收集斗后下方。

垃圾收集斗底部位于水面下, 底面呈斜面更易形成水流使垃圾流入, 高度调节板将载物台与垃圾收集斗连接起来, 同时可调节收集斗在水中的位置与水流速度, 以适应不同水域环境下正常收集垃圾的可行性。

双体船两浮筒内填装发泡胶, 既可满足相应的浮力要求, 又可密封浮筒保证不漏水, 使船体稳定性更强。



(a) 3 维示意图

收稿日期: 2019-12-16; 修回日期: 2020-01-11

作者简介: 张国洲(1997—), 男, 山东人, 学士, 从事船舶动力研究。E-mail: 1040650923@qq.com。

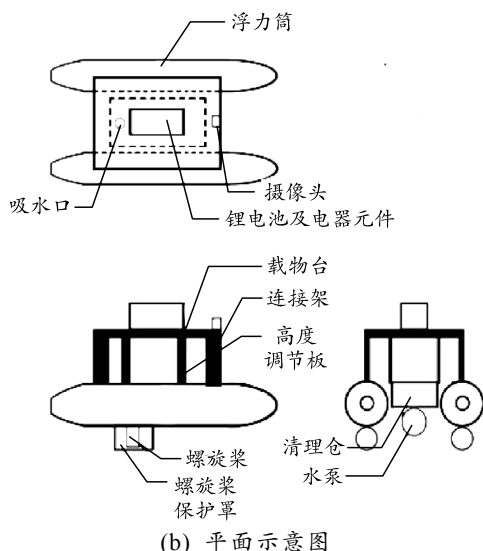


图 1 基本结构

2 推进系统

该机器人选用 STM32 单片机作为主控制单元，选用内含 GPS 定位模块和电子罗盘的 NEO-M8N Pixhawk APM 作为导航控制器，摄像头传感器选用 FPV700 现单板高清摄像头。

采用智能导航模式与遥控模式相结合方式，控制机器人方向变换及前进后退，遥控器通过接收机控制 2 个推进电机，螺旋桨置于双体船两侧浮筒，加入电调易于实现差速转向。

2.1 导管螺旋桨与螺旋桨保护罩

如图 2 所示，在螺旋桨外罩上导管以提高其效率。导管剖面呈机翼形，外侧平直，内部成弧形。当螺旋桨正向转动时，因螺旋桨旋转平面前后部压力差的存在，能产生一个向前的推力。此外，导管的静推力在零进速时为最大，即机器人从静止位置

开始运动时，效率最高，易于启动。在低速状态下，导管螺旋桨可提高效率约 20%。

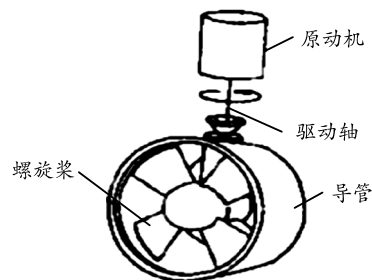


图 2 导管螺旋桨

如图 3 所示，在导管前后设置金属保护罩，保护罩成网状，半水滴形，减小了附加阻力^[5]。保护罩防止水中水草等障碍物缠绕，提高其航行安全性，保障航速稳定。



图 3 螺旋桨保护罩

2.2 电机推进器

采用 T100 电机推进器。由塑料和不锈钢制成的推进器不易锈蚀，价格低廉，控制简单，无需维护；由一层保护涂层防水密封，电机与螺旋桨和喷嘴紧密结合，占用空间比正常推进器小 36%，满足水下机器人高静推力要求，反转螺旋桨实现反扭矩；采用三相无刷电机设计，高性能塑料轴承最大限度减少摩擦，主动水冷利于冷却电机；无任何充气或充油腔，能够承受极端压力。T100 的规格参数如表 1 所示。

表 1 T100 的规格参数

最大前向推力/ kgf	最大反向推力/ kgf	转速/ (r/min)	工作电压/ V	最大电流/ A	最大功率/ W	长度/ mm	直径/ mm	螺旋桨直径/ mm
2.36	1.85	300~4 200	6~16	12.5	135	102	100	76

因该电机工作最大电压为 16 V，经过编程，将电机输入电压由电池的 24 V 降至允许最大电压 16 V。

3 功能实现

3.1 垃圾清理的实现

如图 4 所示，因水具有流动性，特采用水泵吸水提供水流，以促进垃圾的自动流入垃圾收集斗，从而实现快速高效地清理垃圾。



图 4 水泵示意图

垃圾收集斗位于两浮筒之间，当以额定功率 400 W 的水泵在垃圾收集斗正壁面底部进行吸水时，在水面上便会有水沿着斜面从入口处流入垃圾收集斗，从而形成水流。由于水的黏性作用，垃圾便可随水流入垃圾收集斗，同时由于水流的存在，垃圾不易再跑出。此外，通过高度调节板调节垃圾收集斗在水中的位置，来调节水流的速度，更好地应用了水的流动性与黏性的原理来实现垃圾的收入，提高了效率，使得当机器人靠近垃圾时依靠水流即可让垃圾自动流入；电池直接给水泵供电，机器人只要工作，水泵便一直开着，保证一直存在水流，同时防止收入的垃圾流出，保证垃圾清理的高效性；并设置保障调节水流机构，机器人可在不同水域、不同环境条件下实现垃圾的清理，极大提高了该机器人的可应用性与稳定性。

水泵的参数规格如表 2 所示。

表 2 水泵的规格参数

电压/V	功率/W	扬程/m	流量/(t/h)	口径/mm
24	400	21	8~12	25

3.2 浮力的实现

浮力基本由底部的水泵以及两边的浮筒提供。现估算水泵所提供浮力：

$$F_1 = \rho g V_1 = 1 \times 10^3 \times 9.8 \times \pi \times 0.152 \times 0.2 = 138.5 \text{ N}.$$

设计浮筒直径为 0.12 m，长度为 1 m，故两浮筒浮力：

$$F_2 = 2 \times \rho g V_2 = 2 \times 1 \times 10^3 \times 9.8 \times \pi \times 0.062 \times 1 = 221.6 \text{ N}.$$

所以提供的总浮力：

$$F = F_1 + F_2 = 138.5 + 221.6 = 350.1 \text{ N}.$$

因装置质量约为 30 kg，故采用直径为 0.12 m，长度为 0.1 m 的浮筒足以提供所需浮力。

如图 5 所示，浮筒内填充发泡胶，在保证浮力足够的同时使浮筒密封性更好，使其永不进水，极大提高了装置的可靠性与稳定性。



图 5 填充浮筒里面发泡胶

3.3 路径规划与智能导航

在机器人所需巡逻的水域内测量若干个点的地理坐标，将坐标依次录入上位机当中进行储存，并规划机器人的计划航行线^[6]。机器人按照规划路径进行智能航行。

机器人上装有导航控制器，内含 GPS 定位装置和罗盘，向上位机发送机器人的所处位置和机器人的航向。上位机计算出机器人所在坐标、目标坐标方位差以及轨迹方向。通过对机器人 2 台推进器功率的控制，使机器人的航向调整为目标航向。

机器人通过视觉传感器收集图像信息并传递给单片机，单片机对图像信息处理后发送给上位机^[7]。操纵者通过观察上位机上的监视屏了解河道状况，一旦出现特殊情况，操纵者可以解除机器人的自动导航模式，改成遥控模式。通过对上位机进行简单的按键操作，对机器人实行人工控制，让机器人完成特殊任务。

4 结论

该机器人将自动导航模式与无线遥控模式相结合，采用 24 V、16 Ah 大容量锂电池，可以长时间持续供电。电池设置低压报警模块，以保护电池使用寿命。

1) 机器人采用双体船式设计，水域表面风力、洋流对机器人的航行影响较小，保证航行稳定性，适合多种水域环境工作，同时阻力较小，使速度得以保障，并保证能快速有效地清理水面垃圾。

2) 导管螺旋桨的设计提高了航行效率，螺旋桨保护罩的设计保证了航行安全性。

3) 水泵吸水所形成的水流保证垃圾高效迅速地流入，浮力填充发泡胶的设计保证机器的安全性，并提高可靠性。

4) 高度调节板的设计可调节垃圾收集斗的水中高度，调节距水面高度，进而调节水流速度。

5) 原材料清洁环保、循环利用，符合可持续发展理念。

参考文献：

- [1] Defense Science Board. Next-Generation Unmanned Undersea Systems[R]. U.S.: Office of the Secretary of Defense, 2016.
- [2] 高队队, 邵明. 河道整治与河道管理中监控技术的应用[J]. 浙江水利科技, 2002(3): 41-42.

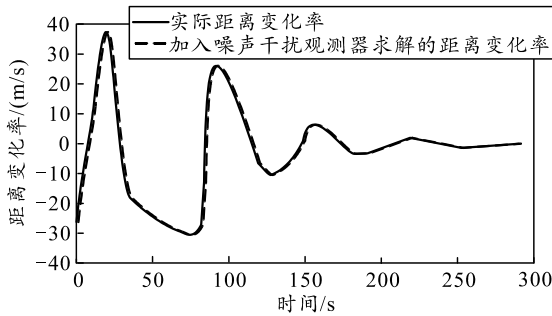


图 6 加扰动后实际距离变化率与文中观测器求解值对比

3.3 与现有实例对比仿真

将文中的实验场景与现有的方法^[7]结合，得到观测器方程如下，

$$\left. \begin{aligned} \dot{\hat{r}} &= \hat{r} + k_1(r - \hat{r}) \\ \dot{\hat{v}} &= k_2(r - \hat{r}) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

其中： k_1 、 k_2 表示增益系数； r 表示距离信号； \hat{r} 表示距离求解量； $\dot{\hat{r}}$ 表示距离求解量的导数； \hat{v} 表示距离变化率的求解值； $\dot{\hat{v}}$ 表示距离变化率的求解量的导数。

将实际的距离变化率与式(1)、式(9)用观测器求得的距离变化率相比，结果如图 7 所示。可以看出：现有观测器计算的距离变化率在实验开始阶段振荡非常明显，与文中观测器求得的距离变化率相比，其与实际距离变化率的偏差较大；经过一段时间后，距离变化率趋于稳定后，现有观测器较文中的方法，需要更长的时间来实现与实际距离变化率的重合。

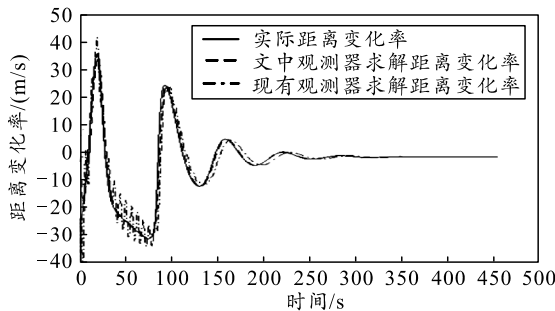


图 7 实际距离变化率、文中观测器以及现有观测器距离变化率对比

综合上述分析可以看出：较之前的方法，笔者提供的方法收敛的快速性以及与实际距离变化率对比的准确性都有很大提升。

4 结论

笔者介绍了一种基于测距信号的距离变化率解算方法。通过数学上的稳定性及结合实际的模型仿真结果证明：该方法求出的距离变化率具有很好的稳定性、快速性、准确性，并且有不错的抗干扰能力；与现有的方法对比，其性能有很好的提升。实验结果表明，该观测器能准确有效地解决基于测距信号的距离变化率求解问题。

参考文献：

[1] YU X, LIU L. Distributed Formation Control of Nonholonomic Vehicles Subject to Velocity Constraints[J]. in IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2016, 63(2): 1289-1298.

[2] YU X, LIU L. Target Enclosing and Trajectory Tracking for a Mobile Robot With Input Disturbances[J]. in IEEE Control Systems Letters, 2017, 1(2): 221-226.

[3] MILUTINOVIĆ D, CASBEER D, CAO Y. et al. Kingston. Coordinate frame free Dubins vehicle circumnavigation[M]. 2014 American Control Conference, Portland, OR, 2014: 891-896.

[4] Arie Levant Robust exact differentiation via sliding mode technique Automatica[J]. 1998, 34(3):379-384.

[5] 程翔昕, 行江, 张伟. 精密测距模拟器距离变化率参数的校准方法[J]. 计量与测试技术, 2014, 41(5): 48-49.

[6] 杨东春, 赵春慧, 顾冬晴. 基于激光测距和惯导的非合作目标远程交会相对导航算法研究[J]. 上海航天, 2016, 33(4): 75-80.

[7] 蒋继成, 姚钢, 赵孝文. 基于观测器的加速度获取方法仿真研究[J]. 自动化技术与应用, 2018, 37(11): 178-180.

[8] SHKOLNIKOV I A, SHTESSEL Y B, LIANOS D P. (2005). Effect of sliding mode observers in the homing guidance loop[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering, 2019(2): 103-111.

(上接第 92 页)

[3] 李政红, 郭秀红, 汪珊. 便携式水质分析仪的技术特点和质量保证[J]. 水文, 2006, 26(6): 57-59, 96.

[4] 蒋新松, 封锡盛, 王隼棠. 水下机器人[M]. 沈阳: 沈阳科学技术出版社, 2000.

[5] 韩晓东, 王坚茹, 孟秀清. 水下航行体几个外形对阻力

影响的数值模拟[J]. 机械, 2011(9): 15-18.

[6] 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.

[7] 欧阳利, 顾磊. 新型远距离救生抛投器的研发与应用[J]. 消防技术与产品信息, 2012, 12: 29-32.