

文章编号: 1674-5566(2020)05-0650-11

DOI:10.12024/jsou.20191102858

基于仿生航行器的养殖水环境要素检测分析系统设计

李瑞环^{1,2}, 张小宇^{1,2}, 孔祥洪^{1,2}, 陈明^{1,2}

(1. 上海海洋大学 信息学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 农业农村部渔业信息重点实验室, 上海 201306)

摘要: 现阶段我国水质监测系统主要采用布设固定监测点的方法, 监测点的数量受到限制, 制造成本高, 数据量相对较少, 且监测系统数据可视化程度不高。针对此问题, 设计了一种基于智能移动平台的养殖水环境检测系统, 加强对养殖水环境的治理。此智能移动平台为仿生蝠鲼航行器, 基于具有遍历性与不相交性的多频简谐合成运动进行动态路径规划, 可搭载温度、pH 等水环境要素检测传感器。利用 MATLAB 对检测数据进行插值处理, 生成目标环境的 3 维切片图, 智能检测水环境要素整体分布情况, 根据要素种类选择查看要素数值的最大区域和最小区域。此系统可应用于普通水产养殖水环境的要素检测, 为管理人员提供科学的数据支持。

关键词: 水质检测; 仿生航行器; 多频简谐合成运动; 插值处理; 切片分析

中图分类号: S 951.2 **文献标志码:** A

中国作为渔业大国, 水产养殖业向高密度、集约化和规模化发展, 基于此种模式, 形成了高生物负载量和高投入量的生产方式, 造成疫病频发^[1]、养殖水生态环境污染和食品安全等诸多问题。传统的定点监测方法已经无法满足现代化发展的需要, 急需发展一种可动态监测水质、速度快、数据有高度代表性的水质检测系统。目前, 渔业领域的检测技术在国内取得了一定的发展, 张婷婷等^[2]总结了空间信息技术在渔业资源及生态环境监测与评价中的应用及研究进展, 突出了 STL 技术在生态环境监测方面的应用; 赵杰等^[3]研发的基于水声通信的海洋水质多点检测系统解决了水中通信难题, 但是数据采集仍然采用较为传统的浮标系统和坐底式水质检测系统; 刘雨青等^[4]设计的基于无人船装置的大水域环境检测系统利用自动巡航无人船实现动态检测, 但检测深度受到限制; 付焕森等^[5]研究设计的基于 ZigBee 和 GPRS 的仿真机器鱼水质检测系统设计虽然引入机器鱼巡游系统, 但巡游路径没有数理模型支持; 王士明等^[6]设计的基于 ZigBee 的

大水域水质环境检测系统依靠 ZigBee 网络进行远程多跳式通信, 数据发送与存储丢包率高, 且构建大范围无线传感器网络的算法复杂, 节点布局难、成本高。此外, 高厚根等^[7]也提出了海洋环境监测系统建设的紧迫性, 本文所述的检测系统设计与国内现有的水质检测方法^[8-11]相比, 可解决上述不足, 采用自主设计的仿生蝠鲼航行器^[12], 弥补了现有航行器^[13-18]的缺点, 航行速度快、检测周期短、作业过程中几乎不影响水生生物生活, 各项成本比较合理^[19-20]; 借助数理方法建立航行器运动模型, 可实现对目标水域的不相交性和遍历性检测, 数据采集方式优于定点检测, 且运动模型可根据目标水域大小进行适应性调节; 航行器采集数据保存在本地, 返回陆地后将数据传至上位机, 最终在上位机界面上通过插值和三维切片分析^[21]的方法形象展现检测数据处理结果, 掌握所检测要素数值的全局分布情况, 以及检测要素数值最大区域和最小区域, 与预先设定的阈值进行对比, 判断该要素数值是否合理。本文实现了对目标水域的温度和 pH 进行

收稿日期: 2019-11-18 修回日期: 2020-02-13

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0701003); 上海市科技创新行动计划(16391902902); 国家级大学生创新创业训练计划项目(G201910264040); 上海市级大学生创新创业训练计划项目(S201910264117)

作者简介: 李瑞环(1995—), 男, 研究方向为信息与计算科学。E-mail: kobe9507@163.com

通信作者: 孔祥洪, E-mail: kong_xianghong@163.com

检测分析,此外还可以对溶解氧、电导率和水体浊度等要素进行检测,应用广泛。

1 系统设计

1.1 检测系统整体构架

由图 1 可知,智能移动检测平台携带温度、溶解氧和 pH 等多种水质检测传感器,经过水质要素采集、数字通讯与传输将采集数据送至上位机,利用计算机软件处理数据。

移动平台为仿生蝠鲼航行器,搭载特定传感器对目标水域中温度、pH 进行非定点的动态检测,被测量信号经过测量电路变成能够检测的模拟电压信号,经过 A/D 转换成数字量进入微处理器 Arduino Nano,传输给上位机之后,借助 MATLAB 开发上位机操作界面并显示经过插值处理的切片结果,展现温度、pH 在水域三维空间内的分布变化,并显示所检测要素数值最高区域和最低区域。

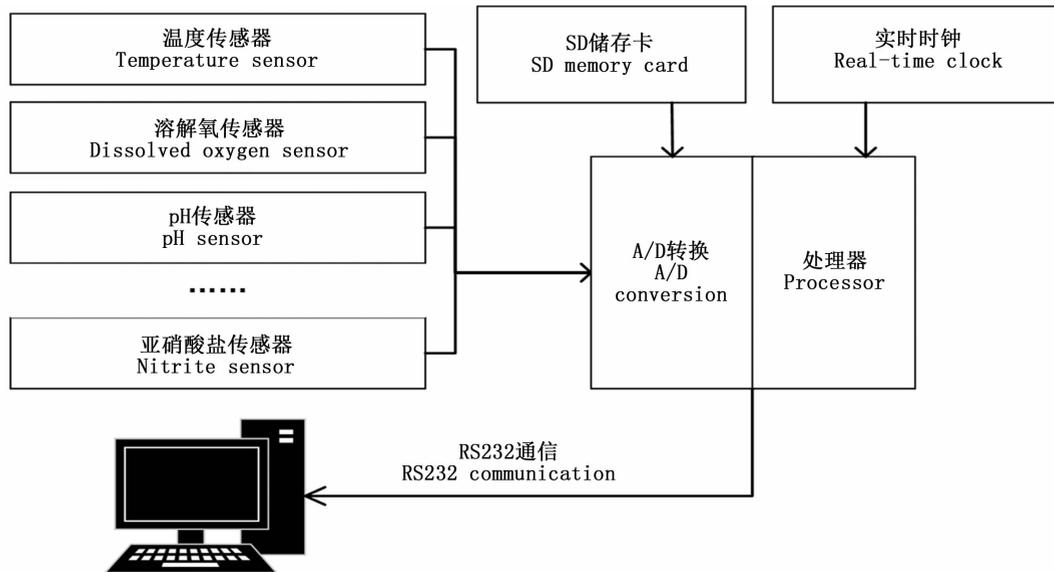


图 1 检测系统整体构架

Fig.1 Framework of the observation system

1.2 仿生航行器设计

根据蝠鲼的外形特点,设计了一种柔韧胸鳍驱动的仿蝠鲼结构的水下机器鱼样机(图 2a),与真实蝠鲼外观非常相似(图 2b),蝠鲼具有流线型的扁平躯体,遵循“滑翔”的设计思想,这种形态

有利于游动推进和下潜滑行,降低水流阻力,增长续航能力,同时航行器的高机动能力和高载重量充分满足长航时、大范围作业的水下推进器的仿生需求。

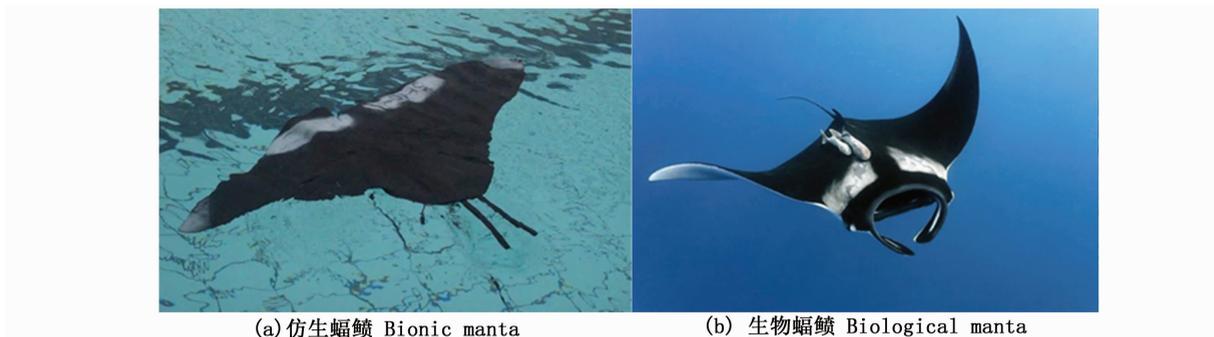


图 2 生物蝠鲼与仿生蝠鲼

Fig.2 Biological and bionic manta

蝠鲼机器鱼的身体部分由基本骨架、控制芯片、外围电路和检测设备组成,将各传感器采集的数据传输至上位机进行分析处理和可视化展示,必要时进行人工调控。机器鱼身体的尾部装

有尾鳍调节装置,让其产生俯仰力矩从而实现下潜和上浮,总体的调节控制系统以 PID 控制为核心。见图 3。

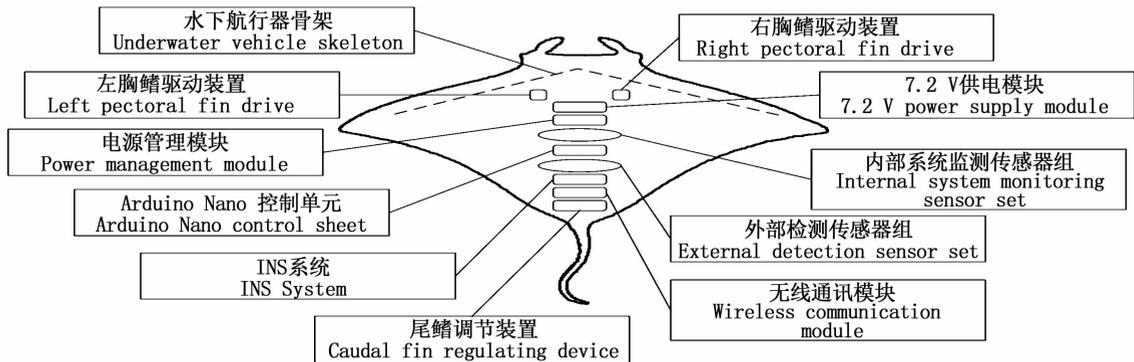


图 3 航行器结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the aircraft structure

1.3 航行器运动模型构建

利用航行器搭载检测设备进行目标水域各项要素指标的动态检测,必须遵循一套行之有效的运动模型。传统航行器获取检测要素的全局分布情况周期过长,并且在航行过程中易与凹凸地形处出现正面碰撞,本文基于多频简谐合成运动的不相交性,构建了航行器运动的数学理论模型,有效缩短检测周期并在最大程度上避免与障碍物碰撞。同时利用计算机数值仿真技术,根据目标水域的大小调整参数,获取较佳的检测航行路径,航行器在最短数据采集周期内获取最有效且具代表性的检测数据。

1.3.1 运动模型理论

任何复杂的运动都可以看作是简谐振动的合成,同理,简谐振动也可以合成复杂的运动。蓝海江^[22]指出,多个三维频率比为无理数的简谐振动合成的轨迹是复杂的非闭合曲线,航行器遵循此轨迹则可以遍历水域的各个部分,且航行路径不重复不相交,以下对此进行推导并仿真。

假设航行器在 xyz 三维坐标系内同时参与 n 个方向的不同频率的简谐运动,其中任意一个简谐振动表示为 \vec{r}_i ,其数学方程^[24]为

$$\vec{r}_i = A_i \cos(\omega_i t + h_i) \vec{e}_i, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: A_i 、 ω_i 和 h_i 分别代表航行器参与 \vec{r}_i 这个简谐运动时的运动幅度、频率和初始位置。公式 1 中

\vec{e}_i 的表达式为

$$\vec{e}_i = \cos T_i \vec{i} + \cos U_i \vec{j} + \cos V_i \vec{k}, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: T_i 、 U_i 和 V_i 分别表示航行器参与 \vec{r}_i 这个简谐运动时与三维空间中 x 、 y 和 z 3 个方向的夹角。则航行器的相应合成运动方程可以写成:

$$\begin{aligned} \vec{r} = \sum_{i=1}^n \vec{r}_i = \sum_{i=1}^n A_i \cos(\omega_i t + h_i) (\cos T_i \vec{i} + \cos U_i \vec{j} + \cos V_i \vec{k}) \\ = \sum_{i=1}^n A_i \cos T_i \cos(\omega_i t + h_i) \vec{i} + \sum_{i=1}^n A_i \cos U_i \cos(\omega_i t + h_i) \vec{j} + \sum_{i=1}^n A_i \cos V_i \cos(\omega_i t + h_i) \vec{k} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: $A_i \cos T_i$ 、 $A_i \cos U_i$ 和 $A_i \cos V_i$ 分别表示航行器参与 \vec{r}_i 这个简谐运动时的 x 、 y 和 z 3 个方向的运动范围; h_i 和 ω_i 与上述含义相同; \vec{r} 代表航行器最终的合成运动轨迹在 x 、 y 和 z 3 个方向上的分量。

分别讨论上述运动模型 \vec{r} 中 ω_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 为有理数和无理数时所对应的合成运动,观察两者不同点。假设有 3 个三维不同频率简谐振动,分别为 \vec{r}_1 、 \vec{r}_2 、 \vec{r}_3 , 记 $\vec{r} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{r}_3$, 则 \vec{r} 的仿真轨迹就是蝠鲼仿生机器鱼的运动模型。下文中提到的 \vec{r} 仅仅表示 3 个三维简谐振动的合成方程,且 3 个简谐振动的频率不仅限于下述具体的数值。在运动模型式(3)的 \vec{r} 中,存在 A_i 、 T_i 、 U_i 、 V_i 、 h_i 、 ω_i 6 个变量,其中 ω_i 用 n 代替, $\omega_i =$

10n_iπ,为了探究当频率比分别为有理数和无理数时运动模型的差异,故控制其他 5 个变量的

值,仅对 ω_i 进行不同的赋值,其中对应参数如表 1 所示。

表 1 3 个频率比为有理数和无理数的简谐振动各参数取值
Tab.1 Three simple harmonic vibration parameter values with a rational number ratio and an irrational number ratio

第 i 个简谐振动 The ith simple harmonic vibration	第 i 个简谐振动各参数取值 Values of each parameter of the ith simple harmonic vibration						
	n1 _i	n2 _i	A _i	T _i	U _i	V _i	h _i
$\vec{r}_1 (i=1)$	4	$\sqrt{2}$	10	π/6	π/3	π/2	5π/4
$\vec{r}_2 (i=2)$	5	$\sqrt{3}$	10	π/3	π/2	π/6	2π/3
$\vec{r}_3 (i=3)$	6	$\sqrt{5}$	10	π/2	π/6	π/3	9π/8

注:变量 i 代表第 i 个简谐振动; n1_i 表示频率为有理数; n2_i 表示频率为无理数

Notes: Variable i represents the ith simple harmonic vibration; n1_i means that the frequency is rational; n2_i means the frequency is irrational

在频率比为有理数的情况下,选择 n1_i 作为决定频率的参数,此时航行器遵循的运动模型为表达式(4)。

$$\vec{r} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{r}_3 = 10 [\cos(\pi/6) \cos(40\pi t + 5\pi/4) + \cos(\pi/3) \cos(50\pi t + 2\pi/3) + \cos(\pi/2) \cos(60\pi t + 9\pi/8)] \vec{i} + 10 [\cos(\pi/3) \cos(40\pi t + 5\pi/4) + \cos(\pi/2) \cos(40\pi t + 2\pi/3) + \cos(\pi/6) \cos(40\pi t + 9\pi/8)] \vec{j} + 10 [\cos(\pi/2) \cos(40\pi t + 5\pi/4) + \cos(\pi/6) \cos(40\pi t + 2\pi/3) + \cos(\pi/3) \cos(40\pi t + 9\pi/8)] \vec{k} \quad (4)$$

由图 4 可看出航行器运动轨迹依然是闭合的,且具有周期性,随着时间的增加,航行器运动轨迹的形状不再改变,循环往复。紧接着,讨论 3 个简谐运动的频率比为无理数的情况,选择 n2_i 作为决定频率的参数,此时航行器遵循的运动模型为表达式(5)。

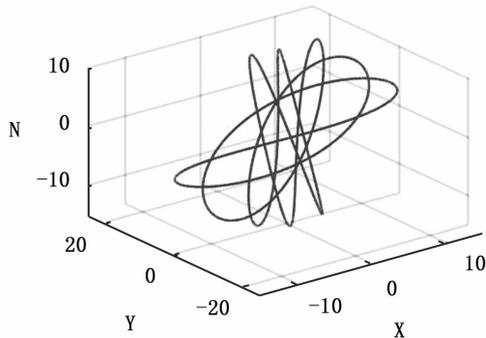


图 4 频率比为有理数仿真结果
Fig.4 The simulation result of a rational frequency ratio

$$\vec{r} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{r}_3 = 10 [\cos(\pi/6) \cos(10\sqrt{2}\pi t + 5\pi/4) + \cos(\pi/3) \cos(50\pi t + 2\pi/3) + \cos(\pi/2) \cos(60\pi t + 9\pi/8)] \vec{i} + 10 [\cos(\pi/3) \cos(10\sqrt{3}\pi t +$$

$$5\pi/4) + \cos(\pi/2) \cos(40\pi t + 2\pi/3) + \cos(\pi/6) \cos(40\pi t + 9\pi/8)] \vec{j} + 10 [\cos(\pi/2) \cos(10\sqrt{5}\pi t + 5\pi/4) + \cos(\pi/6) \cos(40\pi t + 2\pi/3) + \cos(\pi/3) \cos(40\pi t + 9\pi/8)] \vec{k} \quad (5)$$

由图 5 可看出航行器运动轨迹是不闭合、不重复的,随着时间的增加,航行器运动轨迹的形状不断改变,成为更复杂的运动轨迹,最终可近乎完全地遍历目标水域。

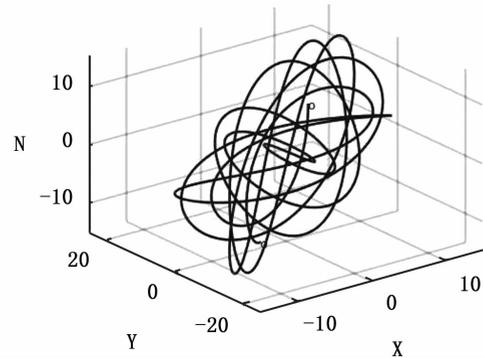


图 5 频率比为无理数仿真结果
Fig.5 The simulation result of an irrational frequency ratio

综上所述,当运动模型 \vec{r} 中的 3 个分简谐运动的频率参数之比为有理数且不完全相同时,航行器的运动轨迹是循环闭合的,总体运动为一个多频合成的多周期运动模式;而频率参数为无理数时航行器运动轨迹是不闭合的曲线,随着频率的升高,其运动模式将更加复杂。若改变模型中 3 个分简谐运动的振幅参数和初相位参数,在频率参数决定轨迹是否闭合的基础上又改变了航行器运动轨迹的形状和取向,最终得到不同的轨迹曲线,即航行器的路线、航行范围与位置都可以根据具体需求而定。航行器遵循此运动模型,

可以快速遍历所检测目标水域的各个区域,对水域全局的要素分布情况进行检测,做到全面快速取样。可通过调整 x 、 y 和 z 3 个方向上的缩放比例,适应不同水域的实际尺寸,适应性较强。

1.3.2 运动模型应用

将基于上述运动模型生成的航行路径经过 MATLAB 栅格化,即得到由点阵组成的路径,每一个点都是一个设定点。在航行器启动时,由上位机对航行器进行初始化,赋予航行器适合目标水域尺寸的航行路线。首先设定一个初始位置,蝠鲼仿生航行器入水时直接到达初始设定点,即航行路径的起点,航行器获得当前位置三维坐标,以自身当前位置为起点,下一个设定点为终点进行运动,如此往复,直至完成航行,也可由上位机进行直接操控。以航行器从设定点 A 到达设定点 B 的过程解释航行原理,从 A 点出发,利用惯性导航系统(inertial navigation system,INS)

测量载体在惯性参考系的加速度 a 和航行器运动过程中的偏航角、速度和位置等信息,不断根据目标点 B 的位置自动调整航行器的航行,最终到达 B 点,然后以 B 点为起始点,向下一个设定点进行。INS 系统利用一个陀螺仪来达到计算下一个目标点的目的,使用 INS 系统,可以不受环境限制,产生载体的三维位置、三维速度和航行姿态等信息,数据的更新效率比较高、短期精度和稳定性好。

1.4 数据采集

仿生航行器的水环境要素检测部分包括水环境要素数据采集、模拟信号的检测、数字信号的存储与处理。各类传感器所检测到的环境数据通过数模转换器(ADS1256)进行数据采集后一并发给顶层单片机,下位机在通讯条件允许的情况下将数据发给上位机。

图 6 所示为上位机与下位机之间的配合关系

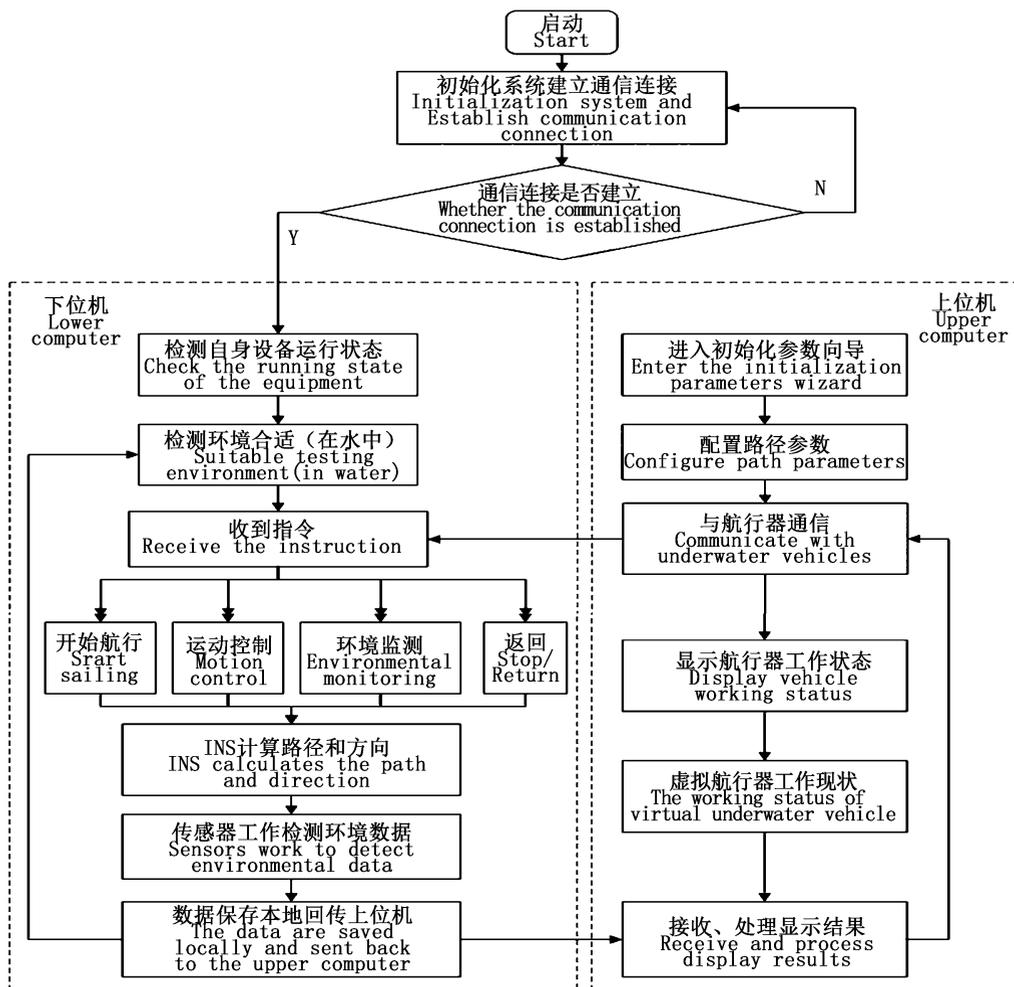


图 6 检测流程示意图

Fig. 6 Workflow chart of monitoring system

以及航行器检测运作流程。当航行器启动时,首先初始化检测系统,包括各个模块的初始化设置,尝试与上位机建立通信连接,直至成功。接着航行器检测自身携带设备的状态,包括各种检测传感器与系统内部传感器、航行器的主控芯片和驱动设备等,并且判断本体所在环境是否为水环境,符合条件则等待上位机指令,同时上位机进入初始化参数向导,生成路径配置参数,用生成的最佳检测路径配置航行器。航行器收到上位机的启动命令,开始遍历目标水域。上位机可对航行器进行运动控制,如上浮、下潜、前进、掉头、转向等,在必要时可命令航行器即刻返航,检测过程中通过惯性导航系统计算航行器下一步的目标位置。航行器携带的传感器将检测数据经过数模转换后保存到本地,航行器返回地面后,上位机接收数据、处理并分析数据。当达到检测时间阈值时检测任务完成。

在检测过程中,航行器的路径状态在工作界面显示,清晰的表达航行器的当前航行位置以及历史航行路径。

1.5 上位机控制层

上位机软件采用 MATLAB 可视化开发,用于对机器鱼的启动、初始化、运动控制等操作,旨在充分配合下位机完成对机器鱼的控制以及功能的实现从而完成任务。如图 7 所示为上位机控

制界面,左侧实时显示航行器的运动轨迹,右侧展现航行器的航行器速度、控制舱温度、剩余电量和通信状况等状态信息,以及所检测水域的水深和水温等。并提供控制航行器运动的命令按钮,包括前进、停止、向左、向右、上浮和下潜 6 个命令。

可以根据所检测要素种类在状态栏中添加需要显示的要素状态信息,可以扩展到 DO、亚硝酸盐、COD 和 DIN 等,取决于航行器搭载的传感器类别。

2 数据采集与处理

2.1 数据采集

在遵循实验规范^[23-24]的前提下,利用航行器样机在上海海洋大学淡水养殖湖泊进行 pH 和温度数据采集实验。携带尼龙安全绳、备用舵机、备用 D038pH 模块、温度传感器模块、pH 模块和备用 GPS 模块等设备开展采集数据工作。在实验开展前需检查检测系统各模块运行情况、对 pH 模块进行标定;在检测过程中每隔固定时间段使航行器样机出水进行路径校准,保证航行路径的精度。共在水下进行 3 次连续实验,分别记录数据。表 2 所示为航行器实际采集的部分数据,时间单位为 ms,航行器启动时刻计为时间起点 0 ms,坐标位置为(0,0,0),单位为 dm。

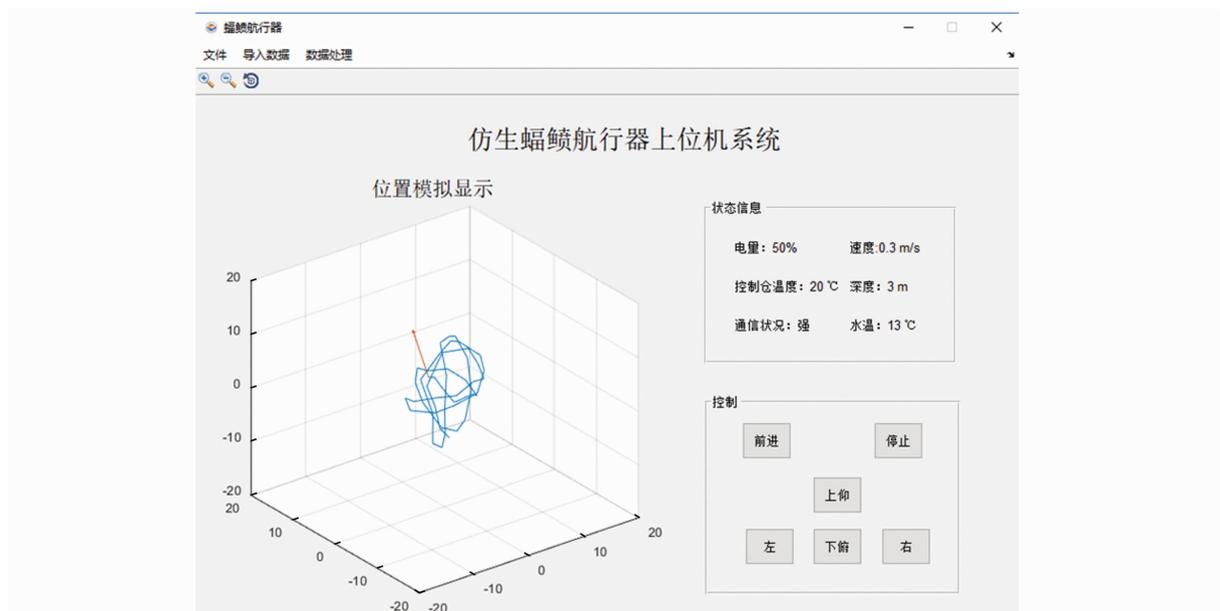


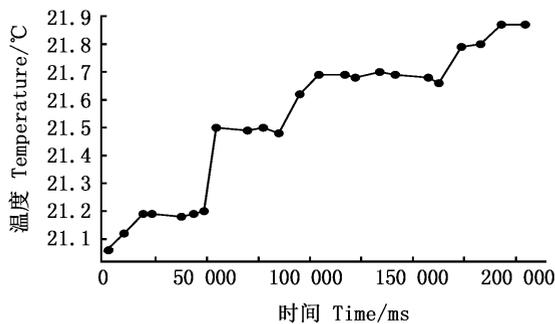
图 7 上位机控制界面

Fig. 7 Upper computer control interface

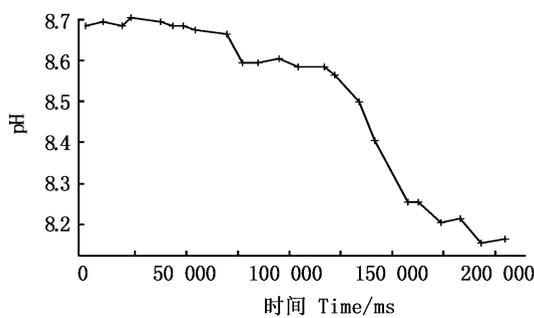
表2 水温、pH 测量数据(部分)
Tab.2 Measurement data of water temperature and pH value (Part)

时间 Time/ms	温度 Temperature/°C	pH	x/dm	y/dm	z/dm
100	21.06	8.68	0.02	0.02	0.00
1 000	21.12	8.69	-9.93	12.54	2.02
2 300	21.19	8.68	-20.31	25.29	4.17
3 600	21.19	8.70	-30.91	38.80	6.50
4 900	21.18	8.69	-41.76	52.77	8.94
6 200	21.19	8.68	-52.77	67.50	11.53
7 500	21.20	8.68	-64.16	82.50	14.18
8 600	21.50	8.67	-75.79	98.17	16.98
9 900	21.49	8.66	-87.98	113.69	19.77
12 000	21.50	8.59	-100.42	129.72	22.65
13 300	21.16	8.59	-112.97	146.52	25.69
14 600	21.62	8.60	-126.06	163.30	28.74
15 900	21.69	8.58	-139.27	180.81	31.94
17 200	21.69	8.67	-152.80	198.68	35.21
18 500	21.68	8.56	-166.46	217.12	38.60
19 800	21.70	8.17	-180.48	235.93	42.07
21 100	21.69	8.16	-194.61	255.52	45.70
21 400	21.68	8.15	-209.16	275.19	49.35
22 700	21.66	8.16	-224.18	294.94	53.03
24 000	21.79	8.16	-239.41	315.19	56.81
25 300	21.80	8.15	-254.70	336.21	60.68
27 600	21.87	8.15	-270.28	357.75	64.47
28 900	21.87	8.16	-286.28	379.65	68.20

注: x, y 和 z 分别代表空间位置中 3 个方向的坐标轴
Notes: x, y and z respectively represent the coordinate axes of the three directions in the spatial position



(a) 某一时段的温度变化
(a) Temperature change over a period of time



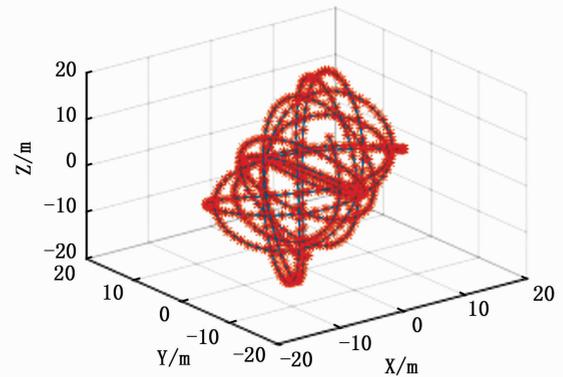
(b) 某一时段的 pH 变化
(b) pH change over a period of time

图8 实测 pH、温度折线统计图
Fig.8 Statistical chart of measured pH and temperature polyline

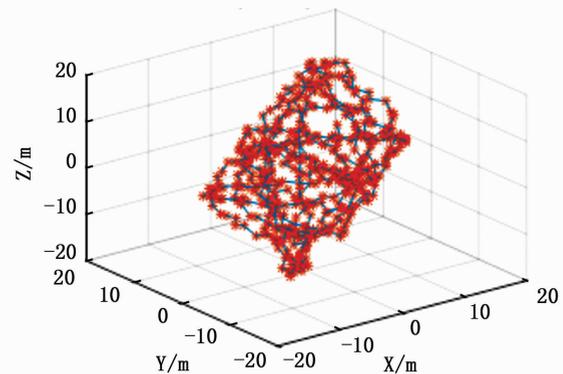
图 8a 显示此时段所检测鱼塘中温度值分布为 20 ~ 22 °C, 图 8b 显示此时段 pH 分布为 7.5 ~ 9.0。航行器采集数据的时间分辨率为 100 ms。

2.2 数据处理与分析

利用计算机模拟生成的数据展示处理的效果, 阐述数据处理方法。沿着某条航行路径, 在随机状态数为 1 的情况下, 随机生成该路径上的属性值, 代表 pH 和温度等检测要素, 考虑到航行过程中航行器路径的不稳定性, 在路径中加入扰动, 见图 9, 图中红色标识表示数据采样点, 蓝色线条表示航行器航行路径。属性数据沿着有扰动的路径图 9b 生成, 将生成的数据保存在本地。



(a) 理想航行路径
Ideal sailing path



(b) 有扰动的路径
A perturbed path

图9 理想航行路径和有扰动的路径
Fig.9 Ideal navigation path and disturbed navigation path

所生成数据的三维坐标均在 [-20, 20] 之间, 且数据坐标范围可根据需要调整。对沿路径模拟生成属性数据在 MATLAB 中进行插值处理, 进而用切片处理方法实现切片图的结果展示。在

数据处理系统界面中显示数据处理结果并提供基本的图像信息。数据处理系统界面的右侧显示数据处理图像结果,其中三维图表示整个鱼塘的要素值分布情况,根据三维图右侧 colorbar 读取数据值,第二幅图为俯视图效果,即 X-Y 方向;

第三幅图为正视图效果,即 X-Z 方向;第四幅图为左视图效果,即 Y-Z 方向。

由图 10 可以发现实际路径与理想路径检测结果几乎一致,两者之间存在误差,但是不会影响总体的检测结果。

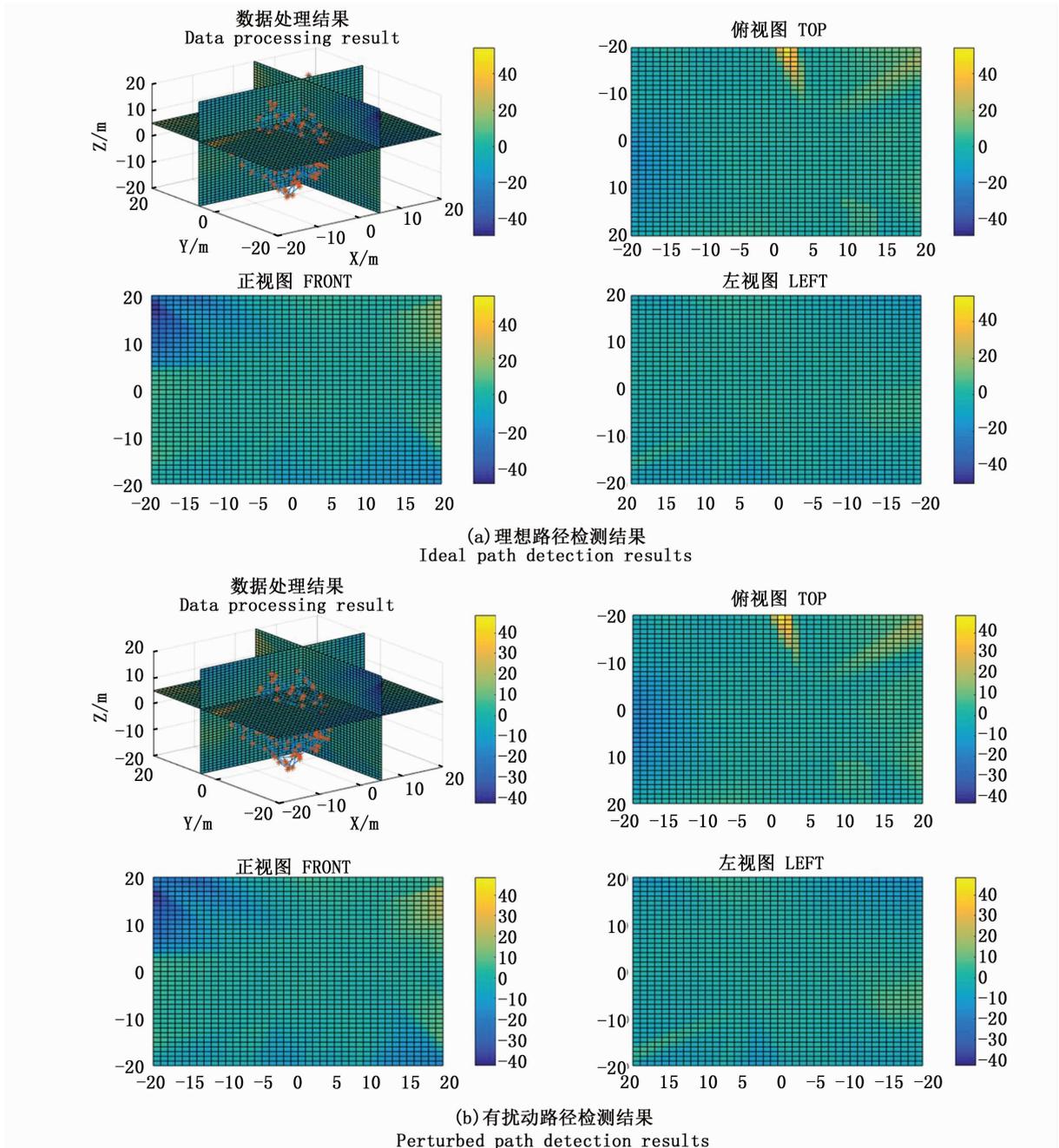


图 10 理想路径和有扰动路径检测结果对比

Fig. 10 Comparison of detection results between ideal path and disturbed path

图 11 为系统界面,左侧显示所检测要素的正常参考数值、所检测结果的最大数据值、最小

数据值,可选择手动或者自动的切片方式获取目标切片位置数据信息,其中自动切片默认为在检

测值最高点进行切片。在界面左下侧,配备有检测要素异常情况信息,若无异常则显示“无”,否则显示异常信息。

如图 11 所示,通过对整体图和三视图的观察得到在坐标为(0,0,0)位置的区域属性值在 20℃左右,可与已经查阅的阈值进行对比,如适合

淡水养殖水体的最适温度值为 18 ~ 25 ℃,20 ℃在此范围内,温度指标正常。通过查看目标点的属性值是否超过检测要素的正常范围,来判断该区域的检测要素浓度是否合理,采取相应的治理措施。

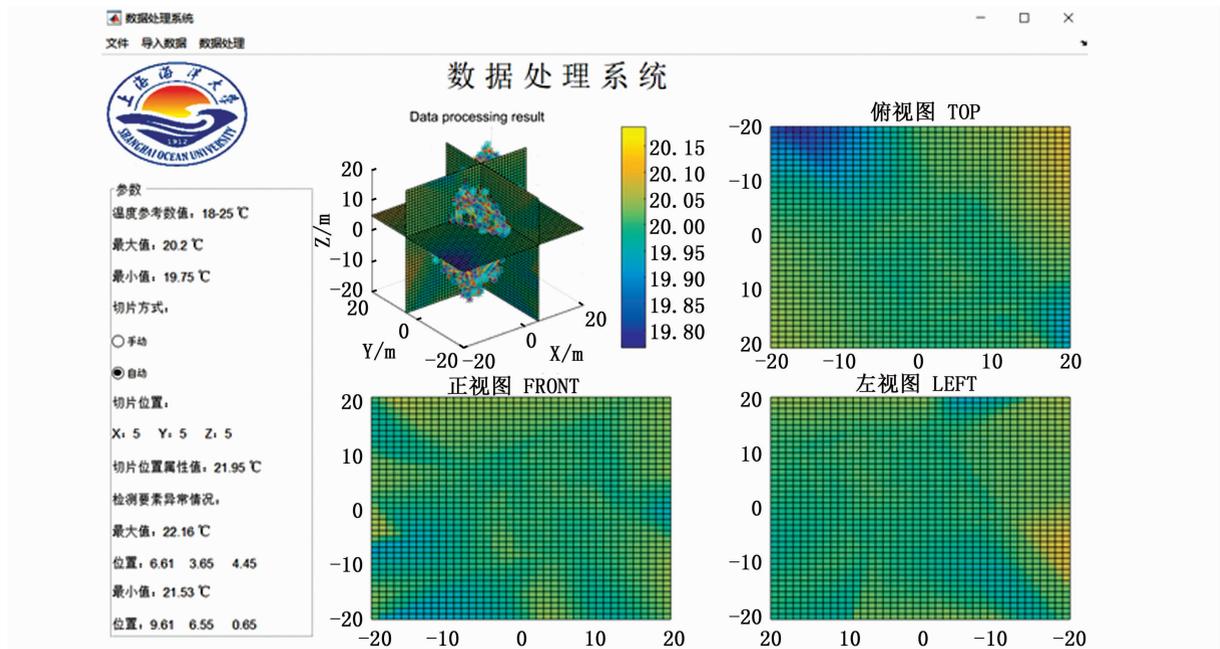


图 11 数据处理系统界面

Fig. 11 Data processing system interface

3 结论

本研究选择养殖水环境检测系统为研究对象,采用仿生蝠鲼航行器为移动平台,实现水质要素检测方案。检测系统借助数理方法建立航行器运动模型,实现对目标水域的不相交性和遍历性检测,并将所采集的数据保存至航行器移动终端,返回陆地后将数据传至上位机,最终在上位机界面上通过插值和三维切片分析^[21]的方法形象展现检测数据处理结果,掌握所检测要素数值的全局分布情况,设定检测要素数值阈值,判断该要素数值是否合理。

该检测系统的亮点在于航行器采用具有流线型扁平躯体的蝠鲼仿生机器鱼平台,载荷量大,续航能力强,且运动速度较快,检测结果具有实时性;仿生移动检测平台携带的传感器种类不限于上述种类,亦可是与 DO、COD、DIN 和 DIP 等

相关传感器。蝠鲼仿生航行器运动路径具有非周期性且不重复的理论特性,保证了采集样本的连续性和遍历性;路径推进精度高,移动平台在大水域环境行进中多次出水,进行路径校准;用 MATLAB 可视化工具开发上位机操作界面,包括图像显示模块、控制模块、参数显示模块和通讯模块,同时对模拟数据进行插值处理,以三维切片图的形式展现目标水域所检测浓度的全局分布状态。综上,本检测系统可辅助相关人员及时采取有效措施,或进行人工干预将损失降到最低,更好地践行“以防为主,防治结合”的理念。

参考文献:

- [1] AL-BAHRY S N, MAHMOUD I Y, AL-BELUSHI K I A, et al. Coastal sewage discharge and its impact on fish with reference to antibiotic resistant enteric bacteria and enteric pathogens as bio-indicators of pollution [J]. *Chemosphere*, 2009, 77(11): 1534-1539.

- [2] 张婷婷,张涛,侯俊利,等. 空间信息技术在渔业资源及生态环境监测与评价中的应用[J]. 海洋渔业, 2014, 36(3): 272-281.
ZHANG T T, ZHANG T, HOU J L, et al. Application of spatial information technologies in monitoring and assessment of fishery resources and ecological environment[J]. Marine Fisheries, 2014, 36(3): 272-281.
- [3] 赵杰,王志,惠力,等. 基于水声通信的海洋水质多点监测系统设计[J]. 大连海洋大学学报, 2017, 32(6): 747-752.
ZHAO J, WANG Z, HUI L, et al. Design of a marine multi-point water quality monitoring system based on underwater acoustic communication [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2017, 32(6): 747-752.
- [4] 刘雨青,姜亚锋,邢博闻,等. 基于无人船装置的大水域环境监测系统设计[J]. 船舶工程, 2019, 41(1): 17-22, 73.
LIU Y Q, JIANG Y F, XING B W, et al. Environmental monitoring system of large water area based on USV device [J]. Ship Engineering, 2019, 41(1): 17-22, 73.
- [5] 付焕森,曹健,李元贵. 基于 Zigbee 和 GPRS 的仿真机器鱼水质监测系统设计[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(7): 179-182, 194.
FU H S, CAO J, LI Y G. Design on simulation robotic fish water monitoring system based on Zigbee and GPRS [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(7): 179-182, 194.
- [6] 王士明,俞阿龙,杨维卫. 基于 ZigBee 的大水域水质环境监测系统设计[J]. 传感器与微系统, 2014, 33(11): 102-105.
WANG S M, YU A L, YANG W W. Design of large area aquacultural water quality monitoring system based on Zig Bee[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2014, 33(11): 102-105.
- [7] 高厚根,谢庆键,陈方平. 福建省海洋环境监测系统建设的构想[J]. 现代渔业信息, 2002, 17(3): 21-22.
GAO H G, XIE Q J, CHEN F P. A tentative idea to build up monitoring system of marine environment in Fujian Province[J]. Modern Fisheries Information, 2002, 17(3): 21-22.
- [8] 徐敏,陆瑞珏,杨凌升. 基于鱼类活动电位功率频谱密度的水质监测方法[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2019, 43(2): 89-95.
XU M, LU R J, YANG L S. Water quality monitoring based on power spectral density of fish activity electrical potential [J]. Journal of Anhui University (Natural Science Edition), 2019, 43(2): 89-95.
- [9] 王佳,张新华,雷晓辉,等. 分布式水文模型对水质监测数据的补充及污染源分析[J]. 南水北调与水利科技, 2019, 17(1): 92-97.
WANG J, ZHANG X H, LEI X H, et al. Study on supplement of water quality monitoring data and analysis of pollution source by distributed hydrological model [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(1): 92-97.
- [10] 曹春杰,程大果,王隆娟,等. 基于 AES 加密算法和轻量级 ROV 的水质监测系统[J]. 通信学报, 2018, 39(s2): 204-212.
CAO C J, CHENG D G, WANG L J, et al. Water quality monitoring system based on AES encryption algorithm and lightweight ROV[J]. Journal on Communications, 2018, 39(s2): 204-212.
- [11] 李鑫星,朱晨光,周婧,等. 光谱技术在水产养殖水质监测中的应用进展及趋势[J]. 农业工程学报, 2018, 34(19): 184-194.
LI X X, ZHU C G, ZHOU J, et al. Review and trend of water quality detection in aquaculture by spectroscopy technique [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(19): 184-194.
- [12] 钱卫国,孔祥洪,邱瑾,等. 一种仿生蝠鲼装置: 中国, 107323638A[P]. 2017-11-07.
QIAN W G, KONG X H, QIU J, et al. Biomimetic manta ray device: CN, 107323638A[P]. 2017-11-07.
- [13] 汪明,喻俊志,谭民. 胸鳍推进型机器鱼的 CPG 控制及实现[J]. 机器人, 2010, 32(2): 248-255.
WANG M, YU J Z, TAN M. Central pattern generator based control and implementation for a pectoral-fin propelled robotic fish[J]. Robot, 2010, 32(2): 248-255.
- [14] AYERS J, WILBUR C, OLCOTT C. Lamprey robots[C]// Proceedings of the International Symposium on Aqua Biomechanisms. Tokyo: Tokai University, 2000.
- [15] WESTPHAL A, RULKOV N F, AYERS J, et al. Controlling a lamprey-based robot with an electronic nervous system[J]. Smart Structures and Systems, 2011, 8(1): 39-52.
- [16] POREZ M, LEBASTARD V, IJSPEERT A J, et al. Multi-physics model of an electric fish-like robot: Numerical aspects and application to obstacle avoidance [C]//2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. San Francisco, CA, USA: IEEE, 2011.
- [17] BOYER F, CHABLAT D, LEMOINE P, et al. The Eel-like robot [C]//Proceedings of the ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. San Diego, California, USA: ASME, 2009.
- [18] STEFANINI C, OROFINO S, MANFREDI L, et al. A novel autonomous, bioinspired swimming robot developed by neuroscientists and bioengineers [J]. Bioinspiration & Biomimetics, 2012, 7(2): 025001.
- [19] 钱卫国,孔祥洪. 新型水下航行器——仿生机器鱼的设计与制作[M]. 北京: 科学出版社, 2018: 12-98.
QIAN W G, KONG X H. Design and manufacture of new underwater vehicle bionic robotic fish[M]. Beijing: Science Press, 2018: 12-98.
- [20] 杨渭,孔祥洪,钱卫国,等. 基于溶氧和酸碱度的水质检

- 测机器鱼设计[J]. 渔业现代化, 2014, 41(1): 10-15, 25.
- YANG W, KONG X H, QIAN W G, et al. Design of a robot fish for water quality monitoring based on dissolved oxygen (DO) and pH[J]. Fishery Modernization, 2014, 41(1): 10-15, 25.
- [21] 丁华锋, 王卓, 刘婧芳, 等. 一种基于 MATLAB 的 STL 文件分层切片算法[J]. 机床与液压, 2018, 46(5): 102-105.
- DING H F, WANG Z, LIU Q F, et al. An algorithm of slicing STL model based on MATLAB[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2018, 46(5): 102-105.
- [22] 蓝海江. 多个简谐振动的合成[J]. 广西科学院学报, 2009, 25(1): 22-25.
- LAN H J. Synthesis of multiple simple harmonic vibrations [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2009, 25(1): 22-25.
- [23] 杨渭, 孔祥洪. 大学物理实验[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2012: 55-81.
- YANG W, KONG X H. University physics experiments[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012: 55-81.
- [24] 孔祥洪, 郭阳雪. 大学物理实验教程[M]. 上海: 同济大学出版社, 2012: 15-84.
- KONG X H, GUO Y X. University physics experiment course [M]. Shanghai: Tongji University Press, 2012: 15-84.

Design of detection and analysis system for aquaculture water environment factors based on bionic vehicle

LI Ruihuan^{1,2}, ZHANG Xiaoyu^{1,2}, KONG Xianghong^{1,2}, CHEN Ming^{1,2}

(1. College of Information, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Fisheries Information, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: At present, the methods of fixed monitoring points are adopted in water quality monitoring in China. The number of monitoring points is limited, the manufacturing cost is high, the amount of data is relatively small and the data visualization is a bit weak. An environmental detection system for culture water was designed in order to strengthen the management of aquaculture water environment and accelerate the development of intelligent fishery. A variety of water quality monitoring sensors are installed with bionic aircrafts with bionic features, taking advantage of the multi-frequency harmonic synthesis motion with traversal and non-intersecting nature to plan path dynamically and to conduct tests of various water environment elements such as temperature and pH in fish ponds. After that, the collected data will be stored in the main processor and subsequently will be transmitted to the host computer through a digital communication system. Then using MATLAB to process data interpolation, and obtain a three-dimensional slice diagram of the numerical distribution of the elements detected in the target fish pond. The overall distribution of the detection features is mastered by the slice diagram, and the highest or lowest area of the feature value is selected according to the type of feature. It has been proved that this detection system can be applied to the monitoring of water environment factors in ordinary aquaculture fish ponds, so as to provide auxiliary decision-making and data support for relevant departments.

Key words: water quality monitoring; bionic aircraft; multi-frequency harmonic synthesis motion; interpolation processing; slice analysis