科技创新

海滨浴场的溺水救援系统设计

——以青岛金沙滩浴场应用为例

田 兴[1]，杨 瑞[1]，何永洪[2]

（1. 安徽理工大学人工智能学院，淮南 232001；2. 安徽理工大学公共卫生学院，合肥 230000）

摘要：针对海滨浴场溺水事故响应滞后问题，设计一种空-水-岸协同的智能救援系统，以提升救援效率。以青岛金沙滩浴场为应用场景，采用北斗定位、物联网、视觉分析、WLAN通信和LoRa通信技术，系统利用无人机进行基于金沙滩客流分布和危险区域的定时巡航监测，通过融合姿态、微表情和声音的多模态视觉分析技术识别危险行为；数据监测终端处理信息后发送信号驱使无人机对特定高风险区域进行聚焦监测并拍照，同时警报装置接收信号发出语音警报驱离危险行为者；在溺水事故发生时，水域救援装置根据无人机发送的厘米级定位信息前往救援，并向救援队和120指挥调度系统发送求救信号。通过警报装置、无人机、多功能水域救援装置和数据监测终端的协同工作，实现全方位的溺水监测和快速救援。仿真与实例分析表明，系统在青岛金沙滩环境下的响应时间和救援效率显著优于传统人工方式。随着技术的不断进步和系统的进一步优化，该救援系统将有望在更广泛的水域环境中得到应用，为保护人们的生命安全提供更加坚实的保障。

关键词：溺水救援；视觉分析；物联网；北斗定位系统；智能监测系统

中图分类号：TP29 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)05－0033－09

根据《中国水资源公报》和《“十四五”水安全保障规划》，中国现有面积1 km^{2}以上的天然湖泊2 670个，水库9.86万座。大量的天然湖泊与水库储存了大量的淡水资源，并且推动当地旅游业发展，带来较大的经济效应。然而，对于天然湖泊、水库区域的管理和水上救援措施并不完善，每年许多人因在戏水、游泳时溺水且无法获得及时的救援而失去生命。目前，传统救援方式主要依赖救援人员携带救生装备，在紧急情况下，无法及时快速地到达溺水者身边开始实施营救[1]，存在溺水发现不及时、救援成功率低、救援效率低下、对于救援者安全存在威胁等问题[2]。

以典型高密度海滨浴场青岛金沙滩为例，其全长3.5 km，日均客流峰值超20 000人次。2021—2023年该浴场发生溺水事故23起，暴露出现有救援模式溺水发现延迟、人工救援响应低效、救援装备风险较高等根本缺陷。

针对存在的缺陷，提出海滨浴场溺水救援的创新救援方案，构建“空-水-岸”三级协同救援架构，无人机智能巡航监测、水域救援装置自主救援、数据监测终端统一指挥调度，三者高效联动，显著提升救援体系的整体效能。溺水识别环节，采用多模态融合智能检测算法，结合姿态识别、微表情识别和声音分析，联合分析溺水事故是否发生，大幅提升识别准确率；协同通信环节，构建“北斗＋LoRa”的异构通信网络，确保复杂海况下通信可靠与高精度定位[3]。

1 总体结构设计

基于海滨浴场的溺水救援系统采用北斗导航定位技术、北斗短报文通信技术、物联网技术、无线局域网（wireless local area network，WLAN）通信技术和LoRa（long range radio）通信技术，系统总体结构组成如图1所示，由警报装置、无人机、水域救援装置、数据监测终端4个模块构成。

1.1 救援思路

无人机按照预设航线覆盖金沙滩3.5 km海岸

收稿日期：2025-06-25

基金项目：安徽理工大学校级质量工程项目（xjkcsz2025118）；安徽省省级教学研究项目（2020jyxm0445）；安徽理工大学研究生教育教学研究项目（2024yjy004）

作者简介：田兴（1990—），男，安徽淮北人，博士，副教授，硕士研究生导师，研究方向为光机电一体化及交叉学科；杨瑞（2004—），男，安徽六安人，研究方向为机器人技术；何永洪（2003—），女，重庆人，研究方向为工业粉尘的职业暴露与控制。

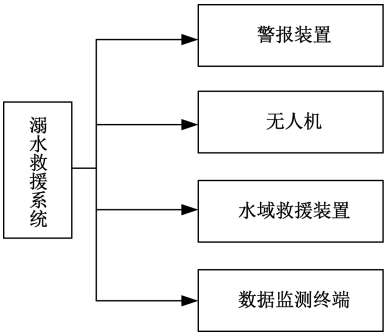


图 1　系统总体结构组成

线及重点区域如防鲨网、礁石区、深-浅水过渡带进行定时巡航，设定正常时段为 10 min 一次、高峰时段 5 min 一次，通过搭载的高清摄像头实时回传画面。当视觉分析算法检测到有游客越过安全浮标线进入深水区，或识别出挣扎、呼救的微表情和声音特征时，标记为高风险行为，同时将危险信息发送至数据监测终端。数据监测终端处理信息后，指令无人机飞往该 GPS 坐标点进行低空盘旋、高清拍照、录像；通过无人机扩音器进行定向喊话警告，同时控制临近的 LoRa 警报装置发出声光警报，驱离嬉水者；终端同步发送短信提示金沙滩水域管理站值班人员，并增加该高风险区域周边的无人机巡逻频次。

溺水事件发生时，多模态融合算法判定某位置发生溺水，数据监测终端立即将溺水者精确位置[北斗实时动态(real-time kinematic，RTK)定位]和实时画面发送至就近水域救援装置，同时向金沙滩现场救援队和青岛市 120 急救指挥中心发送求救信号；水域救援装置自主导航至溺水点，亮起警示灯，抵达后通过语音安抚“救援已到达，请抓住漂浮物!”并释放便于抓扶的漂浮物；现场救援队根据终端信息快速出动，120 急救资源同步调度。救援流程如图 2 所示。

1.2　通信技术

系统采用 WLAN 技术和 LoRa 技术。LoRa 技术适用于远距离、低功耗的通信，能够实现警报装置与数据监测终端之间的稳定连接；WLAN 用于无人机与数据监测终端之间以及无人机与溺水救援装置之间的数据传输，提供高带宽和快速响应。系统各板块通信关系如图 3 所示。

2　硬件设计

2.1　警报装置设计

设计一种基于 LoRa 的警报装置，其主要功能为：当无人机进行定时巡查发现有人进入危险水域

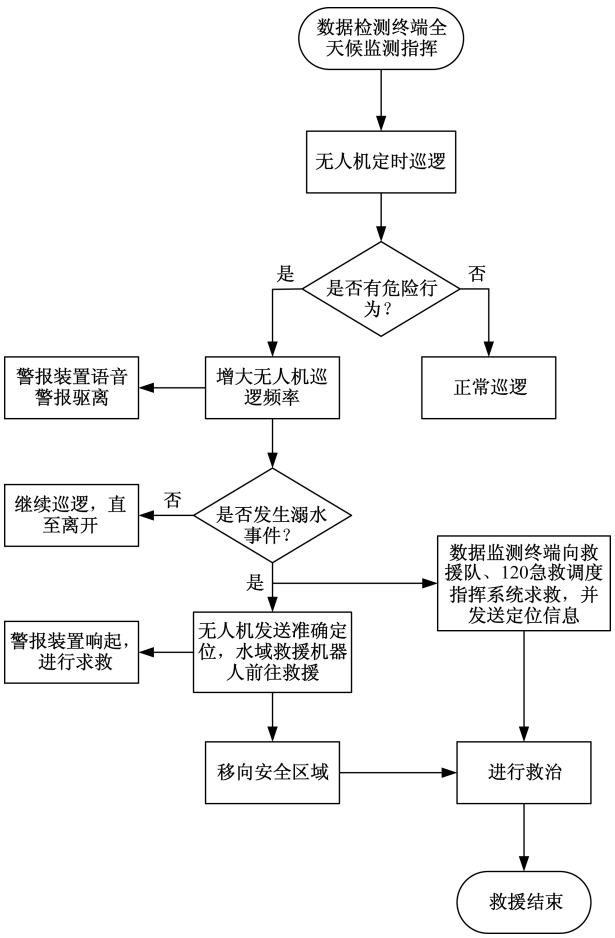


图 2　救援流程

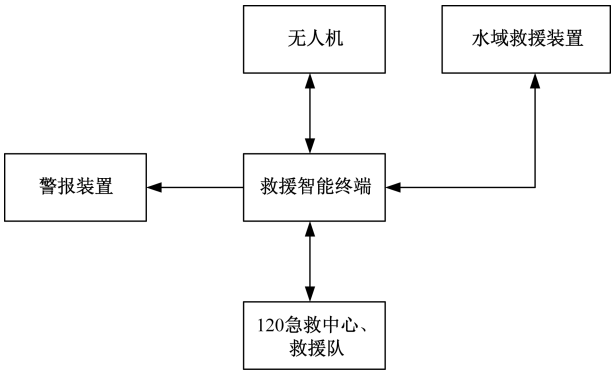


图 3　通信关系

时，数据监测终端向警报装置发送指令，装置内部警报器发出声音进行驱离。LoRa 作为一种新型的远距离、低功耗、低成本技术，是当前实现远距离、低成本数据传输的一种比较可行的方案[4]。

警报装置主要由 SX1276 LoRa 通信模块、STM32、声光警报器、电源模块组成，通过 SX1276 LoRa 模块接收监测终端发送的信号，STM32 微控制器处理信号后控制声光警报器进行闪灯和警报驱离。警报装置结构组成如图 4 所示。

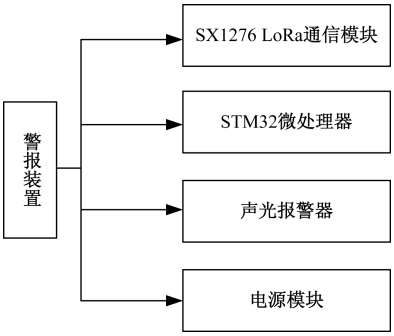


图 4　警报装置结构组成

2.2　无人机设计

采用 DJI Matrice 300 RTK 无人机,该型号无人机可实现三通道 1 080p 图传,支持 2.4/5.8 GHz 双频通信,作业过程中自动实时切换至最佳信道,复杂环境下依然能有效抵抗干扰。配备 AES-256 图传加密技术,支持 LTE 备份链路,图传可靠性增强,数据传输更加安全。RTK 技术提供厘米级的定位精度,能够保证无人机精准定位溺水者位置。

为了更好实现无人机在系统中的工作,在 DJI Matrice 300 RTK 无人机中加入兼容 Matrice 300 RTK 的北斗定位模块和 WLAN 通信模块,通过高效的数据传输协议,能够保证溺水者状态信息和位置数据的及时传输,实现无人机、水域救援装置和数据监测终端之间的配合,能够在复杂的海滨浴场环境中保持高精度定位和稳定的实时通信,显著提升了溺水救援的效率和准确性。

2.3　水域救援装置设计

2.3.1　硬件设计

水域救援装置旨在利用视觉分析、北斗定位系统等技术,应对海滨浴场的水域监控、预警和溺水救援问题。该装置具有快速定位溺水者位置、救援协助、指挥和报警功能,装置外观渲染图如图 5 所示。水域救援装置搭载北斗定位系统和双向通信装置,当无人机发现溺水者时将位置信息传输至水域救援装置,装置接收信号后立即前往溺水事故发生处,同时警报灯亮起,利用传感器模块和视觉模块检测溺水者位置,相机通过姿态分析调整朝向移动至溺水者身边,为溺水者提供漂浮物,并向数据监测终端发送信息,通过数据监测终端向救援队及 120 急救求救,其结构如图 6 所示。

本文中设计了一种由视觉模块、主控模块、通信模块、定位模块和传感器模块组成的水域救援装置,如图 7 所示。

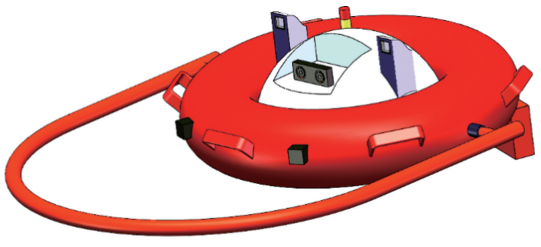


图 5　水域救援装置外观渲染图

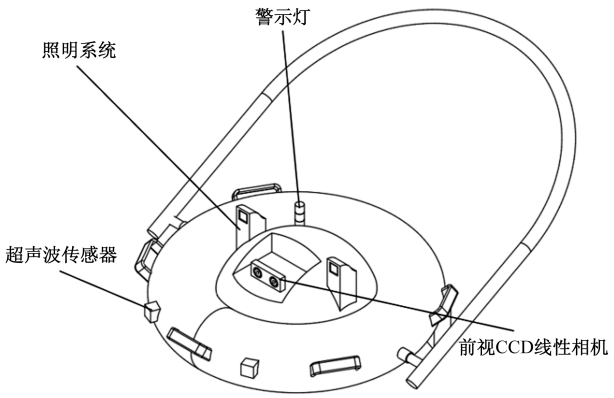


图 6　水域救援装置结构

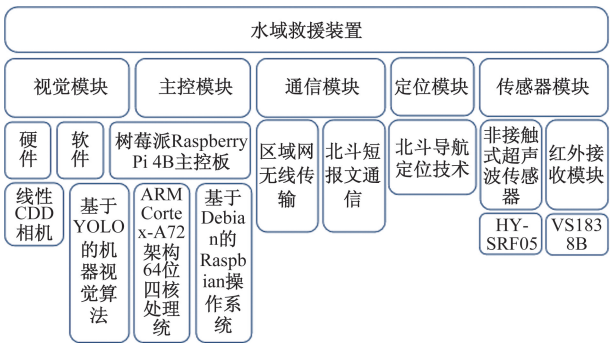


图 7　水域救援装置系统结构组成

1)主控模块

选用树莓派 Raspberry Pi 4B 作为主控模块,统筹协调动力系统以及其他各个模块,采用基于 Cortex-A72 架构的 64 位四核处理器,提供强大的计算能力,可满足复杂控制算法和实时数据处理需求。

当接收救援无人机的位置信息后,主控模块实时处理救援装置的位置、速度、轨迹、姿态等参数,通过区域网无线传输至数据监测终端,同时主控模块接收数据监测终端指令与救援无人机信号;主控模块分析并处理指令,规划最优路径,控制、协调各模块控制救援装置到达救援位置。

2)视觉检测模块

水域救援装置前端设置有线性电荷耦合器件(charge coupled device,CCD)相机,支持高分辨率与高速帧率,相机对救援环境及落水者姿态进行实

时图像采集，并通过区域网无线传输至数据监测终端；视觉检测模块通过串口与主控模块通信，相机初始化后采集图像并保存，数据压缩处理后发送至 Raspberry Pi 4B 上位机，数据采集流程如图 8 所示。

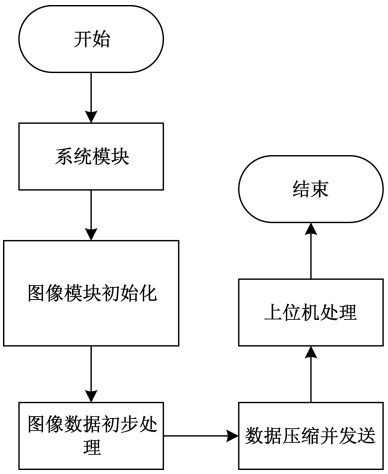


图 8　数据采集流程

Raspberry Pi 4B 采用基于 YOLO 的机器视觉算法，采用回归思想利用卷积神经网络对图像进行特征提取[5]，建立种类齐全、分类系、质量高的数据集；并引入人体跟踪算法作为初始的人体关节点提取方法，进行人体 3D 关键点检测，从而精确识别溺水者的姿态[6]，调整救援装置的自身位置，为溺水者提供便于抓扶的漂浮物，使溺水者摆脱危险。

3)传感器模块

装置两端设置有 HY-SRF05 非接触式超声波传感器。HY-SRF05 模块是一种测距模块，由超声波发射器和接收器组成，可在 3～4 cm 内精确测量距离，与主控模块串口连接。采用 IO 口 TRIG 触发测距，模块自动发送 8 个 40 khz 的方波，自动检测是否有信号返回，通过处理返回信号计算距离实现避障功能[5]。

装置前部配置有红外接收模块。红外接收模块最小单元采用 VS1838B 红外接收接头，与主控模块串口连接，红外接收模块将捕获到的红外信号传输至主控模块；主控模块对信号进行分析处理，可以计算出装置的移动方向，从而通过舵桨控制调整方向[7]。

4)定位模块

水域救援装置采用北斗定位模块，北斗定位模块使用高精度实时动态定位技术，定位精度高；同时北斗定位模块附加短报文通信技术，可获取救援装置的经度、纬度、速度和航向角等位姿信息[8]。相比其他定位系统，北斗定位技术采用卫星导航信号方案，能够降低救援装置在海滨浴场进行救援时的定位延迟误差，提高救援效率。

5)通信模块

通信模块采用成熟的 WLAN(无线局域网)技术，利用射频(RF)技术进行信息传输；采用高性能的 nRF24L0＋无线传输芯片，与主控芯片通过串行外设接口(serial peripheral interface，SPI)通信协议实现数据交互[9-10]；通过部署合适的局域网基站，实现救援设备与控制终端之间的稳定通信；同时，通信模块内部集成有信号处理电路和电源管理电路，确保数据传输的高效性和稳定性。无线通信模块原理如图 9 所示。

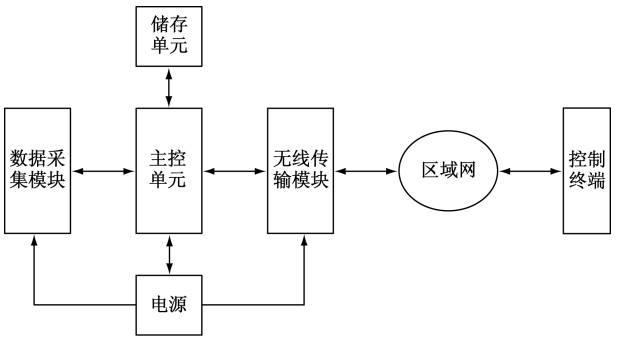


图 9　无线通信模块原理

2.3.2　救援装置有限元分析

因水域救援装置的刚度与强度影响救援性能，所以对装置进行有限元分析，以保证装置在救援工作时可以承受较大的载荷。在进行有限元分析前，首先确定救援装置采用的材料，装置外壳采用高强度塑料 ABS(丙烯腈、丁二烯、苯乙烯)，机械杆材料选用轻质合金铝合金，所选材料参数见表 1。

1)网格划分

为了探究救援装置进行救援时的受载荷情况，对救援装置进行有限元分析，评价其救援时的性能。采用 ANSYS Workbench R18.0 对装置进行有限元模型分析，为了求解更加方便，需要将模型进

表 1　水域救援装置材料参数

材料	弹性模量/GPa	泊松比	密度/(g·cm^{-3})	屈服极限/MPa
ABS	3.0	0.394	1.02	50
铝合金	70.0	0.330	2.70	250

行简化,去除机械杆部分,仅保留救援装置本体[11]。将 SOLIDWORKS 三维模型导入 Workbench 中,将装置模型进行网格划分,模型网格划分得到节点数为 27 333,单元数为 14 311,如图 10 所示。

2)施加载荷

有限元分析以静力学为基础[12],对救援装置性能进行分析。在救援装置上施加载荷,在一定的情况下,位移和等效应力越小,则装置性能越好。在救援装置前端施加 1 000 Pa 的载荷,模拟救援装置的位移和等效应力,由图 11 和图 12 可知,救援装置最大变形量为 $7.628\ 8\times10^{-11}$ m,整体应力小于许用应力,救援装置设计符合要求。

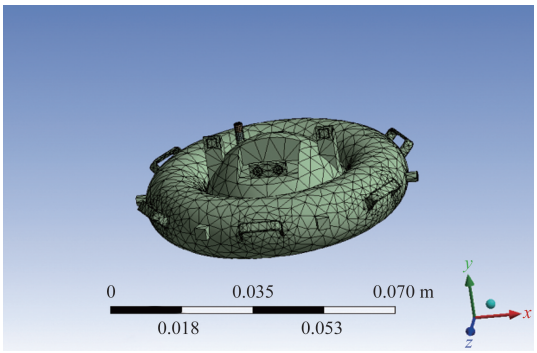


图 10　装置网格划分

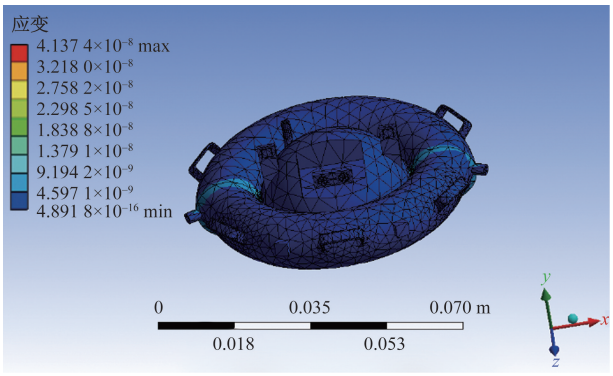


图 11　等效弹性应变分布云图

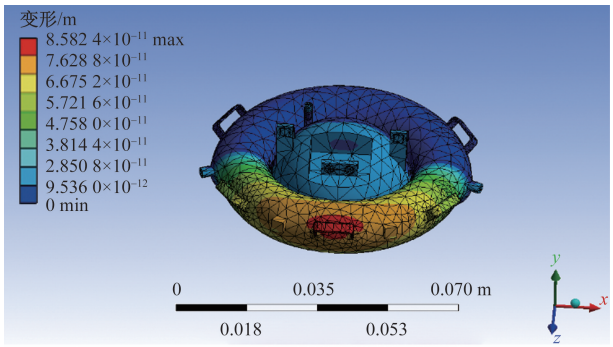


图 12　总变形量分布云图

3)有限元分析

在救援过程中,为了避免溺水者压在救援装置前端使得装置受力不平衡,从而导致装置侧翻,对溺水者造成二次伤害,装置后端配置有配重,用于平衡装置受力。对救援过程进行力学分析(图 13),探究溺水者使用装置脱困时的受力情况,从而对救援装置的性能进行评价。

考虑溺水者抓住救援装置时手臂与装置法线方向之间可能存在夹角,假设夹角为 θ,且 $\theta\in\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$。救援过程中,装置应满足受力平衡,应满足:

$$\begin{cases}F_{浮1}=m_1g+Mg+F_{拉}\cos\theta\\F_{拉}\sin\theta=F_{动}\end{cases}\tag{1}$$

式中:M 为救援装置配重质量;m_1 为溺水者质量;g 为重力加速度。

为避免装置前后端受力不平衡,引起装置侧翻,对溺水者带来二次伤害,引入约束条件:

$$F_{拉}\cos\theta=Mg\tag{2}$$

已知溺水时存在多种影响因素导致人体所受浮力无法抵消自身重力,从而导致呛水和溺水的发生,如人体肌肉紧张、错误的自救姿势、呼吸方式不当、人体密度变化等。

将模型进行简化,假设这些因素最终结果导致浮力的变化,引入浮力与装置法线方向之间夹角 φ,用于代替影响因素造成的结果。利用改变参数模拟出因素对浮力大小的影响,设置夹角 $\varphi=26°$。再对水中的溺水者进行受力分析,假设溺水者抓住救援装置时胸口露出水面,仅胸口至脚部受浮力作用,进行力学分析,竖直方向受力平衡,可得出:

$$F_{浮2}\cos\varphi+F_{拉}\cos\theta=m_1g\tag{3}$$

在水中的浮力大小受水的密度 ρ、重力加速度 g,排水体积 $V_{排}$ 的影响,其中海水的密度 ρ 取 1.025 g/cm^3,g 取 9.8 m/s^2,水中浮力的计算公式为

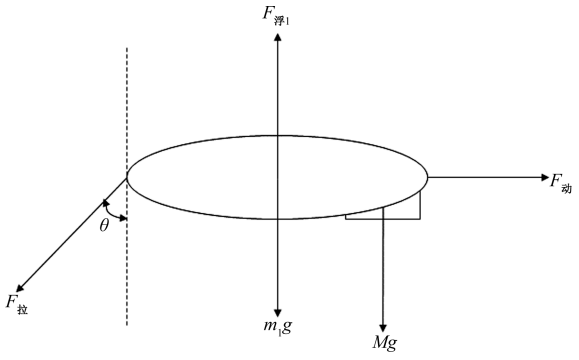


图 13　救援过程装置受力分析

$$F_{浮} = \rho g V_{排} \tag{4}$$

为保证配重 M 设计的科学性，分别取全国成年男性和成年女性升高、体重平均值进行计算。根据查询资料得知，成年男性和女性的平均身高分别为 167.1 cm 和 155.8 cm，平均体重分别为 66.2 kg 和 57.3 kg。以成年男性为例，假设仅受浮力部分为 120 cm，人体受浮力部分横截面积均为 0.05 m^2，进行计算可得出 M=10.7 kg；同理，可计算出以成年女性，M=5.6 kg。因此，设置救援装置配置质量 M=8.15 kg，以平衡装置受力，保证救援的可靠性。

3　数据监测终端设计

3.1　监测终端逻辑架构

数据监测终端分为设备层、采集传输层、数据层、应用层 4 个层级[13]。设备层包括警报装置、无人机和溺水救援装置，用于完成救援工作；采集传输层的功能为实时采集设备层各设备的数据信息和运行状态，并对数据进行预处理；数据层对采集传输层收集的数据进行计算和分析，通过算法分析判断溺水事件发生的可能性，并与其他相关数据系统进行交互；应用层与水域管理人员进行交互，实现对水域的实时监测，并在溺水警报发生时，辅助水域管理人员进行决策及向救援队与 120 急救中心求救。数据监测终端逻辑架构如图 14 所示。

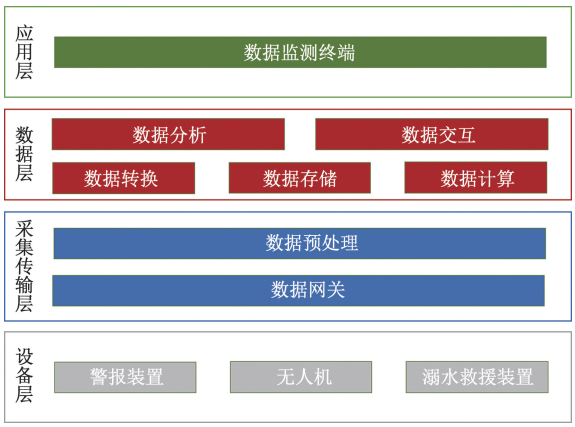


图 14　数据监测终端逻辑架构

数据监测终端前端采用现代 Web 开发技术栈，包括 React.js 作为核心框架，Redux 用于状态管理，Axios 用于与后端 API 进行通信。前端结构主要分为设备模块、智能检测模块、定位信息模块和实时画面模块 4 个部分。

3.2　数据监测终端功能设计

3.2.1　数据的采集与储存

数据监测终端能够实现各装置数据的接入，还可以对各装置执行相应的管理操作；无人机和溺水救援装置采集的图像数据通过接入数据监测终端的共享接口同步数据的方法实现；监测终端对多种数据进行预处理、解算、解析、格式变换、标准化等处理，并支持对原始数据、过程中数据处理结果的存储。

3.2.2　数据的可视化

数据可视化功能包括救援实时数据展示、近期数据展示和溺水判断结果展示。该模块集成在 Web 服务器中，通过 JavaScript API 及 Echarts 框架将数据传至前端 Web 页面，前台页面接收到数据后，利用 JS 代码对数据进行解析，实现数据的可视化[14]。

3.2.3　通信设计

系统采用 LoRa 和 WLAN 技术作为主要的通信技术，当无人机检测到有人在危险水域逗留时，监测终端通过 LoRa 模块将报警信号发送至警报装置，发出警报进行驱离；同时数据监测终端通过 WLAN 与无人机和溺水救援装置进行实时数据传输与指令传达，无人机与溺水救援装置也通过 WLAN 进行实时通信，确保救援装置能够准确定位溺水者位置并提供浮力支持。

3.2.4　智能检测系统

为了实现精确的溺水识别，平台利用多模态数据融合技术，结合姿态识别、微表情识别和声音分析，利用算法对数据进行分析，判断是否发生溺水，算法流程如下。

步骤 1：实时获取图像数据和音频数据进行预处理。将采集的视频数据帧率调整到适合处理的范围，利用均值滤波算法对数据进行去噪，提升图像的质量。将音频信号分割成固定长度的帧，使用频谱减法去除音频数据背景噪声，提升音频信号质量。

步骤 2：模型训练。收集大量正常游泳和溺水情况发生时的视频和音频数据，分别采集姿态、微表情和声音特征，并进行分类；手动标注每段数据的状态，用于训练模型，优化识别的准确性。

步骤 3：结合多模态数据融合结果实时计算溺水风险评分。将输入的图像和声音数据转换为姿态特征向量、微表情特征向量、声音特征向量，再通过对各个特征向量进行拼接或加权融合，得到综合特征向量。使用融合卷积网络对综合特征向量进行分类[15]，计算溺水风险评分。

步骤 4：设定溺水风险评分阈值。根据实际情况设定一个溺水风险评分阈值，当溺水风险评分超

出风险阈值时,则判定发生溺水事件。智能检测系统发出警报,数据监测终端启动一键呼救功能,向救援队和 120 急救中心求救。青岛金沙滩指挥中心示意图如图 15 所示。

4　可行性分析

为验证溺水救援系统在复杂环境下的适用性与可靠性,设计了无人机的巡航能力、救援装置的响应时间以及系统与人工救援效率的仿真实验,理论上评估了救援系统性能,从多角度验证系统的可行性和潜在应用价值。

4.1　无人机的巡航能力仿真

无人机的续航性能是保障溺水救援系统在实际场景中稳定运行的关键指标之一,救援场景的天气条件会显著影响无人机的能耗和续航时间,从而影响系统的任务完成能力。通过无人机的巡航性能仿真实验,评估救援系统在青岛金沙滩浴场的巡航能力适应性。仿真假设无人机在无风、微风和强风 3 种天气条件下运行,计算无人机在不同条件下的最大续航时间,定量分析天气条件对无人机续航能力的影响。

无人机续航时间仿真结果如图 16 所示。在无风条件下,无人机的续航时间可达 55.6 min;在微风条件下,续航时间下降至 33.3 min;而在强风条件下,续航时间进一步减少到 22.7 min,其中微风场景为青岛金沙滩的经典场景。因此,风速增加显著加剧了无人机能耗,强风条件下续航时间仅为无风条件下的 40%,在实际救援中,为确保无人机能够在复杂环境中完成任务,应采取多架无人机协同作业或优化任务路径规划等措施,以最大限度提升系统的危险监测能力。

4.2　救援装置的响应时间仿真

在实际救援过程中,公共水域常伴随多种信号干扰源,可能导致通信延迟,从而影响救援效率。为了评估系统在不同干扰环境下的适应性与性能,



图 15　青岛金沙滩指挥中心示意图

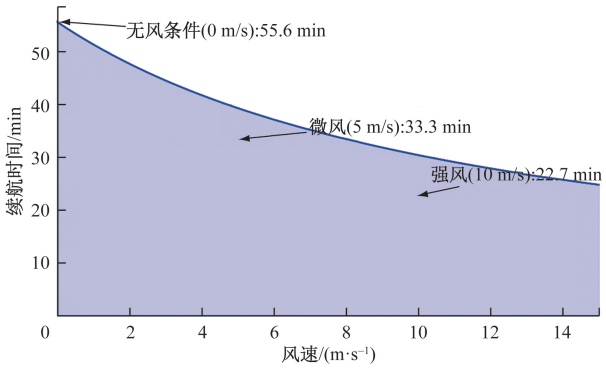


图 16　无人机续航时间

仿真模拟溺水点距离范围在 10～100 m，并设定低、中、高 3 种典型的通信干扰强度条件，其对应的通信延迟分别为 0.5、1.5、3.0 s。通过综合考虑通信延迟和救援装置的移动速度，计算不同干扰条件和不同距离下的总响应时间，分析通信干扰对系统性能的影响。

救援装置响应时间仿真结果如图 17 所示。干扰强度增加会导致响应时间略微延长，但总体延迟幅度较小，表明系统在复杂干扰环境中仍具有较好的抗干扰能力。为了进一步优化系统性能，可考虑引入更高效的通信模块或在信号干扰严重区域部署辅助基站，以进一步降低延迟对救援效率的影响。

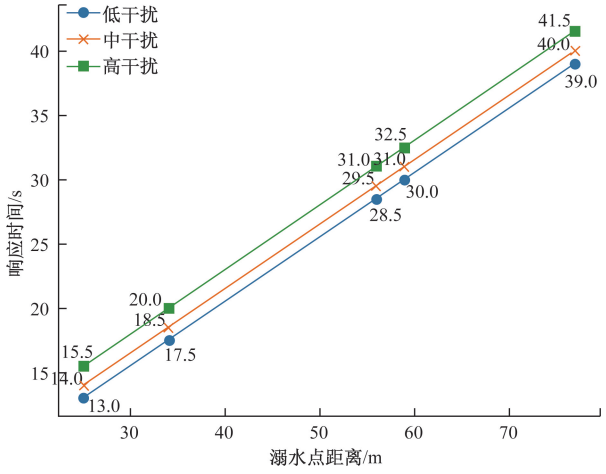


图 17　救援装置响应时间

4.3　系统与人工救援效率仿真

设计了系统与传统人工救援效率的对比仿真测试，仿真假设人工救援速度为 1 m/s，救援系统的救援速度为 2 m/s，模拟溺水点距离为 10～100 m，分别计算人工救援和系统救援的耗时。通过对比不同距离下的救援时间，评估自动化救援系统在效率上的潜在优势。仿真结果如图 18 所示。

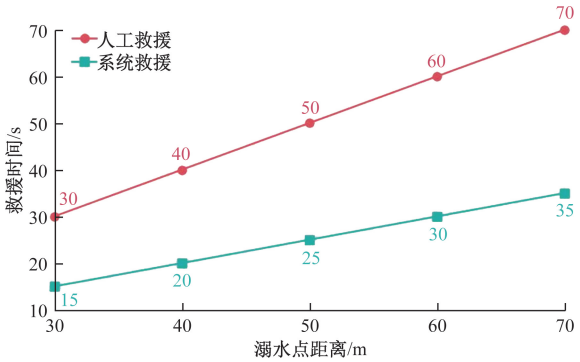


图 18　救援效率对比

由仿真结果可以看出，救援系统不仅能够缩短响应时间，且救援效率明显优于传统人工救援。结合无人机的实时监控功能，救援系统能够减少因信息延迟和人工判断导致的额外耗时。

结合上述仿真结果可以得出，溺水救援系统能够很好地完成海滨浴场的溺水救援任务，且具有较好的稳定性、高效性，验证了系统的可行性和潜在应用价值。

5　结论

在救援操作中，无人机和水域救援装置可能与溺水者发生接触，为避免二次伤害，系统采用柔性材料和自动刹停功能，提升装置的安全性；此外，通过配重模块的设计，确保救援装置在复杂水域环境中的稳定运行，防止翻覆对溺水者造成威胁。在系统的抗干扰能力方面，为应对复杂环境中的信号干扰和恶劣天气，系统采用 LoRa 通信技术和防水、防腐材料，确保数据传输的稳定性和设备的可靠性。针对隐私和伦理问题，系统在设计中采用了数据加密和匿名化处理技术，确保监控数据仅在识别出危险行为或溺水事件时启动采集和存储。同时，救援系统严格遵循国家相关隐私保护法规，确保数据使用和管理的合法合规，最大程度降低对公共水域管理和个人隐私的潜在影响。

针对海滨浴场溺水救援问题，设计了一种基于北斗导航定位、物联网、LoRa 通信和 WLAN 通信技术的综合救援系统。该系统通过警报装置、无人机、水域救援装置和数据监测终端 4 个模块的有机结合，实现了对溺水事故的快速检测、定位和救援。实时数据传输和高精度定位功能，显著提升了溺水救援的效率和准确性。未来，随着技术的不断进步和系统的进一步优化，该救援系统将有望在更广泛的水域环境中得到应用，为保护人们的生命安全提供更加坚实的保障。此外，该系统采用智能检测技术，可以实时监测、

识别危险行为并及时发出警报,预防溺水事故的发生,提高了海滨浴场应急救援的数字化、智慧化,对智能化溺水救援系统的设计有一定借鉴意义。

参考文献

[1] 顾芸. 海水浴场水上救援设计必要性研究[J]. 湖北农机化,2019(14):75.

[2] ZHANG Y, LI C, WEI C, et al. An intelligent self-powered life jacket system integrating multiple triboelectric fiber sensors for drowning rescue[J]. InfoMat, 2024, 6(5): 12534.

[3] 刘碧波,文龙,卫佳,等. 基于多传感器融合的公路隧道新能源汽车火灾快速预警救援系统[J]. 科技和产业,2024,24(16):205-210.

[4] 张乾. 基于LoRa的低速柴油机测控技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2023.

[5] 毛少华,王文东. 基于深度学习的YOLO系列物体检测算法研究综述[J]. 延安大学学报(自然科学版),2024,43(2):88-95.

[6] 杨世林,高治军,卜春光,等. 基于救援机器人的人体关节点检测方法[J]. 科学技术与工程,2024,24(17):7214-7220.

[7] 盛肖炜,于林鑫. 一种小型智能水上救援机器人的设计[J]. 江苏工程职业技术学院学报,2022,22(4):17-23.

[8] 徐岩,甄实,林子圣,等. 基于STM32的智能航行系统设计[J]. 应用科技,2024,51(4):25-29.

[9] 刘继海,魏三喜,樊智一,等. 基于北斗定位技术个人救生定位终端的研制与应用[J]. 自动化应用,2024,65(6):182-184.

[10] ANDRZEJ S, KRZYSZTOF G, MICHAL H. Wireless local area network technologies as communication solutions for unmanned surface vehicles[J]. Sensors, 2022, 22(2): 655.

[11] 路昊,郭辉,高国民,等. 红花采摘机器人移动平台设计与分析[J]. 中国农机化学报,2024,45(6):242-249.

[12] 石义栋,冯天玉,陆伟安,等. 基于ANSYS Workbench的复合式发酵塔装置重要零部件有限元分析[J]. 湖北农业科学,2019,58(10):150-153.

[13] 贺晓铭. 在役公路隧道结构健康监测系统设计与应用[J]. 黄河水利职业技术学院学报,2024,36(2):40-45.

[14] 杨凯,张淼,祁苗苗. 铁路车辆监测图像识别模型训练及验证平台研究[J]. 铁路计算机应用,2023,32(6):26-30.

[15] 王绿芽,贺霄. 大气环境智能监测平台的设计[J]. 黑龙江科学,2024,15(8):70-73.

Design of a Drowning Rescue System for Seaside Bathing Beaches: Qingdao Golden Beach Application

TIAN Xing[1], YANG Rui[1], HE Yonghong[2]

(1. College of Artificial Intelligence, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;
2. College of Public Health, Anhui University of Science and Technology, Hefei 230000, China)

Abstract: To address the delayed response to drowning incidents in bathing beaches, an intelligent air-water-shore collaborative rescue system was designed to enhance rescue efficiency. Using Qingdao's Golden Beach as the application scenario, this system was designed, the system employed Beidou positioning, IoT, visual analysis, WLAN communication, and LoRa communication technologies. Drones conducted timed patrols based on passenger distribution and high-risk zones at Golden Beach, and hazardous behaviors are identified through multimodal visual analysis integrating posture, micro-expressions, and vocal cues. After processing data, the monitoring terminal signaled drones to focus on specific high-risk areas for close monitoring and photography, while alert devices issued voice warnings to deter individuals engaging in dangerous behavior. Upon drowning incidents, aquatic rescue devices navigated to the target using centimeter-level positioning data sent by drones and simultaneously dispatched distress signals to rescue teams and the 120 emergency dispatch system. Comprehensive drowning surveillance and rapid response were enabled by collaborative operation among alert devices, drones, multifunctional aquatic rescue units, and data monitoring terminals. Significantly improved response times and rescue efficiency were demonstrated by simulation and case analyses compared to traditional manual methods in the Golden Beach environment. With ongoing technological advancements and system optimization, this rescue system holds promise for broader application in aquatic environments, offering robust protection for public safety.

Keywords: drowning rescue; visual analysis; IoT; Beidou positioning system; intelligent monitoring system