

一种基于北斗定位的海上智慧救生衣

林 粤, 陈泓材, 丘振雄, 凌敏怡, 马雅琳, 高明玉, 王 静, 侯明鑫, 李 军

广东海洋大学机械工程学院, 管理学院, 广东 湛江

收稿日期: 2025年3月28日; 录用日期: 2025年5月13日; 发布日期: 2025年5月21日

摘 要

随着海上经济活动日益频繁, 海上事故频发, 传统救生衣已无法满足现代海上救援对快速定位和人员状态监测的智能化需求。本文介绍的北斗智慧救生衣融合了北斗定位、AI算法、物联网感知技术和环保发电技术, 具备落水自动感应、实时监控与报警、精准定位等功能, 能显著提升海上搜救效率和成功率, 降低落水人员伤亡率。文中详细阐述了该救生衣的设计思路、核心模块与技术实现。

关键词

北斗卫星导航系统, 智能救生衣, 海上搜救, AI算法, 物联网

A Maritime Intelligent Life Jacket Based on Beidou Positioning

Yue Lin, Hongcai Chen, Zhenxiong Qiu, Minyi Ling, Yalin Ma, Mingyu Gao, Jing Wang, Mingxin Hou, Jun Li

Department of Mechanical Engineering, Department of Management, Guangdong Ocean University, Zhanjiang Guangdong

Received: Mar. 28th, 2025; accepted: May 13th, 2025; published: May 21st, 2025

Abstract

With the increasing frequency of maritime economic activities and frequent maritime accidents, traditional life jackets can no longer meet the intelligent needs of modern maritime rescue for rapid positioning and personnel status monitoring. The Beidou smart life jacket introduced in this article integrates Beidou positioning, AI algorithms, IoT sensing technology, and environmental protection power generation technology. It has functions such as automatic sensing of drowning, real-time monitoring and alarm, and precise positioning, which can significantly improve the efficiency and success rate of maritime search and rescue, and reduce the casualty rate of drowning personnel. The

文章引用: 林粤, 陈泓材, 丘振雄, 凌敏怡, 马雅琳, 高明玉, 王静, 侯明鑫, 李军. 一种基于北斗定位的海上智慧救生衣[J]. 传感器技术与应用, 2025, 13(3): 421-427. DOI: 10.12677/jsta.2025.133042

article elaborates in detail on the design concept, core modules, and technical implementation of the life jacket.

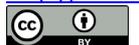
Keywords

Beidou Navigation System, Intelligent Life Jacket, Maritime Search and Rescue, AI Algorithm, Internet of Things

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

海上安全是海洋经济可持续发展的重要保障。在科技不断发展的现代社会，为了经济发展，对海洋的开发也越显重要，随之而来的是人们增加了面对海上航行作业的风险。传统救生衣功能局限，仅提供基本浮力和有限的保温效果，在快速定位和人员状态监测等智能化功能方面存在严重不足，难以满足现代海上救援的需求。因此，本文构建了一种基于北斗卫星导航技术为核心的多功能智能救生衣。利用北斗全球定位的支持，提供精准定位，从而提高对落水者的快速救援。除此以外，还额外配备了自动报警功能以及各种传感器模块。可以让救援人员实时监测到落水者的心率、体温等数据，更方便施救人员根据实际情况拟定救援计划。本文的智慧救生衣旨在为水上作业的工作人员提供一种新的安全管理解决方案，并为推动海上救援的救援方案提供新的参考方向。

2. 研究背景

随着海上渔业、运输及能源开发活动的增加，人员落水事故频发，而传统救生衣功能单一(仅提供浮力与基础保温)、缺乏智能化定位与健康监测功能，已难以满足现代海上救援需求。在此背景下，中国政策层面通过《海上交通安全法》强化搜救能力建设，农业农村部要求渔船配备完善救生设施，同时“碳中和”目标推动救生衣环保升级。技术层面，北斗卫星导航系统的高精度定位与通信能力解决了海上定位难题，传感器、AI 算法及新材料的突破为智能救生衣的研发奠定基础，开发新型智能救生衣(见图 1)已成为应对自然风险、满足市场需求的必然选择。

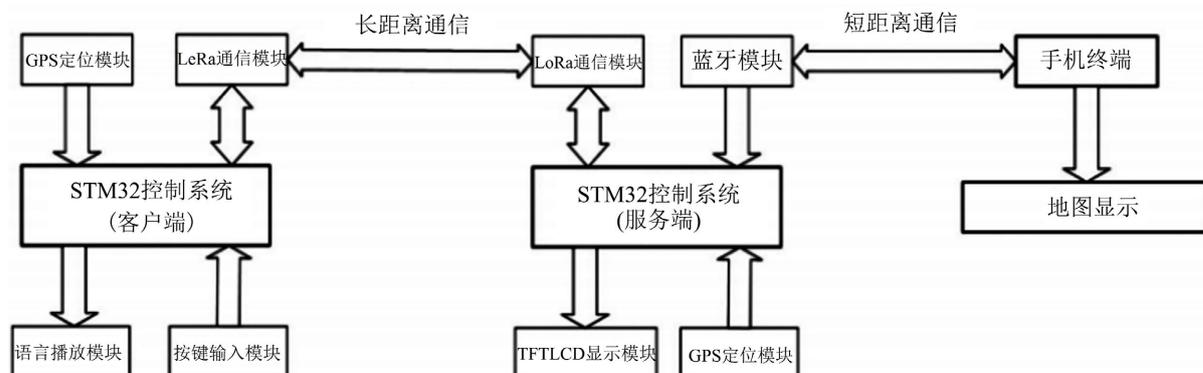


Figure 1. Hardware system architecture diagram of intelligent life jackets suitable for marine scientific exploration activities
图 1. 适用于海洋科考探险活动的智能救生衣的硬件系统结构图

国内外救生衣技术改进成果颇显丰硕,陈嘉龙(2023)研发的基于原电池的太阳能恒温救生衣,以NBR/PVC软质闭孔泡沫塑料提升保温性并解决穿戴问题[1]。王馨盛等(2020)借助LoRa通信模块,为海洋科考探险活动提供紧急位置信号发送功能[2]、李培正(2021)将AIS定位与发射功能融入救生衣,实现自动触发报警[3]。国外更有Shahin Matin和Mohammad Hossein Namayandegi(2017)提出融合救生衣、肩包、智能手机功能和生存工具的概念,增强了救生衣的舒适性与实用性[4]以及Neethu P S等(2023)探索在救生衣中集成温脉传感器以监测健康状况并报警[5],各项功能日益成熟。此外,材料技术、传感器技术以及人工智能算法的蓬勃发展,也为开发高性能、多功能的救生衣创造了有利条件,国内外智能救生衣的研究水涨船高(见图2)。

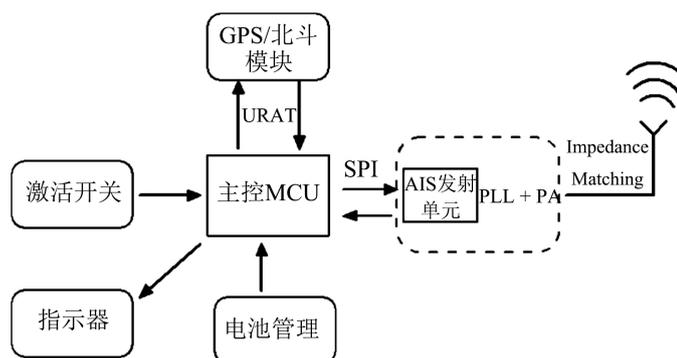


Figure 2. AIS MOB design block diagram
图2. AIS MOB 设计方框图

3. 关键技术与模块

3.1. 移芯 EC618 芯片

移芯 EC618 芯片是北斗智慧救生衣的核心组件之一,该芯片产品特性见图3。由上海移芯通信科技股份有限公司自主研发,支持3GPP R13/R14 Cat.1bis标准。该芯片高度集成,实现基带、射频、电源一体化设计,内部集成电源管理芯片,使外围器件数量减少30%以上,芯片尺寸仅6.1 mm × 6.1 mm × 1.14 mm,有效降低成本,利于小型化设计。

芯片型号: EC618
频段: LB: 617 MHz~960 MHz
MB: 1710 MHz~2200 MHz
HB: 2300 MHz~2690 MHz
协议版本: 3GPP R14
工作电压: 3.1 V~4.5
工作温度: -40°C~+85°C
PSM功耗: 1.3 μA
IDLE功耗(DRX 1.28 s): 230 uA
封装: TFBGA 6.1 mm * 6.1 mm * 1.14 mm

Figure 3. EC618 characteristics of chip products
图3. EC618 芯片产品特性

其功耗表现出色, PSM 功耗低至 1.3 μA , 连接态功耗相比同类产品下降超 50%, 契合救生设备长时间待命需求。在射频性能上, TDD 频段接收灵敏度较竞品提高 2~3 dB, 低至 -101.x dBm, 确保救生衣在复杂海上环境稳定运行。

3.2. 合宙 Air780EG 模块

合宙 Air780EG 模块基于移芯 EC618 Cat.1 平台和芯芯通 UC6228CI GNSS 导航定位方案, 集 LTE Cat.1 bis 通信与卫星定位功能于一体。支持 4G 全网通, 适配不同运营商网络, 具备双卡单待、串口电平可配置、USB 2.0 高速接口等功能, 方便数据传输与设备连接。

该模块支持北斗 + GPS 双模卫星定位, 水平精度小于 2.0 米 CEP50。具有 FOTA 升级功能, 采用 LGA 109PIN 封装, 尺寸为 $(17.7 \pm 0.15) \text{ mm} \times (15.8 \pm 0.15) \text{ mm} \times (2.3 \pm 0.15) \text{ mm}$, 满足小型终端产品空间需求, 休眠功耗低至 600 μA , 降低能源消耗。

4. 技术集成思路

以北斗卫星导航技术为核心构建多功能智能救生衣, 内置北斗定位模块及信号接收器, 实现落水者位置信息实时获取与传输, 为救援提供精准定位。引入小程序 UI 前端设计理念, 实现双向图文收发, 便于救援人员与落水者沟通, 通过观察北斗轨迹为救援提供全面信息支持。该产品采用了 AI 算法(见公式 (1))与定位, 基于人工智能改进型 LSTM-BPTT 算法结合各传感器数据, 其中 BPTT (Backpropagation Through Time)是一种用于训练循环神经网络(RNNQ)的反向传播算法, 特别适用于处理序列数据或时间序列。BPTT 的核心思想是将 RNN 展开为深度前馈神经网络 Q, 然后使用标准的反向传播算法来计算和更新权重。它可以视为反向传播算法的扩展, 专门用于具有时间依赖性的序列数据。从而精准监测与推理落水人员各项数据, 为精准救援提供支撑(见图 4)。

AI 智能定位计算公式如下:

$$J_{\text{cost}} = \frac{1}{2} \left(\left\| h(t) - \hat{h}(t) \right\|_2^2 + \lambda \left\| c(t) - \hat{c}(t) \right\|_2^2 \right) = \frac{1}{2} \left(\sum_{t=1}^n (h(t) - \hat{h}(t))^2 + \lambda \sum_{t=2}^{n-1} (c(t) - \hat{c}(t))^2 \right) \quad (1)$$

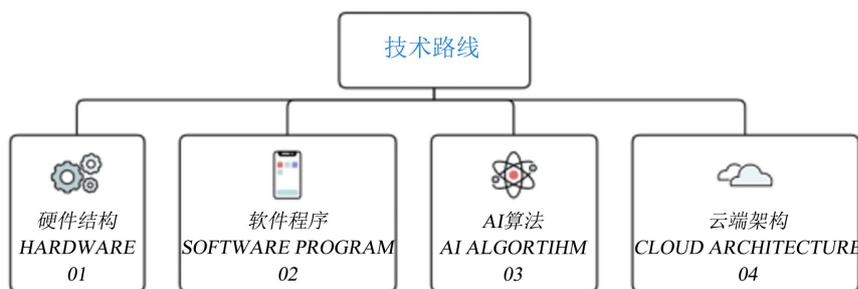


Figure 4. Four technical main lines of Beidou life jackets
图 4. 北斗救生衣四条技术主线

5. 产品设计与技术实现

5.1. 结构与外观设计

北斗智慧救生衣在外观设计上充分考虑到实际使用场景中的可见性、便利性和适应性。主体采用荧光绿与亮光橙双色搭配, 表面嵌入高亮度反光牌及反光牙, 确保黑暗环境中可通过光源反射快速定位。多口袋拉链设计(网袋、鱼钳袋等)兼顾存储功能与防水性能, 提升救生衣的实用性与环境适应性。

救生衣背面的便携佩戴智能模组由控制板、北斗轨迹模块、体质传感器模块和电池模块组装成，采用尼龙防水封装与海绵缓冲层，确保防水性与穿戴舒适性。传感器模块实时监测落水者心率、血氧、体温及环境温度，异常数据触发紧急报警。结合北斗高精度定位，通过小程序实时显示健康状态与位置轨迹，并支持图文双向交互。AI 算法同步分析数据，生成最佳救援路径，大幅提升搜救效率。

5.2. 核心技术实现

5.2.1. 北斗三模定位

北斗卫星导航作为中国自主研发的卫星导航系统，具有高精度定位、通信等功能，能够有效解决海上定位困难、信号不稳定等问题。基于 GPRS + GPS + 北斗联合定位技术，结合基站信号矫正与星历文件重用算法，可让定位精度提升至米级(CEP50 < 2.0 m)。系统在 250 ms 内完成 GNSS 芯片启动，并每 10 分钟自动校验定位状态，确保复杂海况下位置信息的连续性与可靠性。

5.2.2. 健康监测与决策

救生衣集成了多种传感器，包括心率传感器、血氧饱和度传感器、体温传感器和环境温度传感器，采用改进型人工智能 LSTM-BPTT 算法，实时融合心率、血氧、体温等传感器数据，构建落水者健康状态模型。当检测穿戴人员到心率异常(如骤降或骤升)或环境温度低于安全阈值时，自动触发多级报警机制，并通过小程序向救援端推送健康报告与急救建议，为救援人员提供了全面的信息支持，从而制定更科学的救援方案。

5.2.3. 物联网传输架构

借助物联网技术，实现救生衣数据的实时传输与共享。传感器收集的生理、环境数据及北斗定位模块的位置信息。图 5 为一体化构架图，通过内置物联网通信模块无线传输至云端服务器。数据通过轻量级 MQTT 协议传输至云端服务器(阿里云 CentOS 7.8 系统)，后端采用 PHP 7.2 + ThinkPHP 5.0 框架实现高效数据处理，前端通过 Vue 2.0 与小程序原生开发，提供实时地图轨迹展示与图文交互功能。数据库采用 Redis V6 和 Mysql V8.0，Redis V6 缓存高频访问数据(如位置信息)，MySQL V8.0 存储历史记录，确保系统响应速度与数据安全性。救援人员可通过配套小程序或 APP 实时查看落水人员位置和健康状态，实现双向图文收发，及时沟通并根据实际情况调整救援策略。

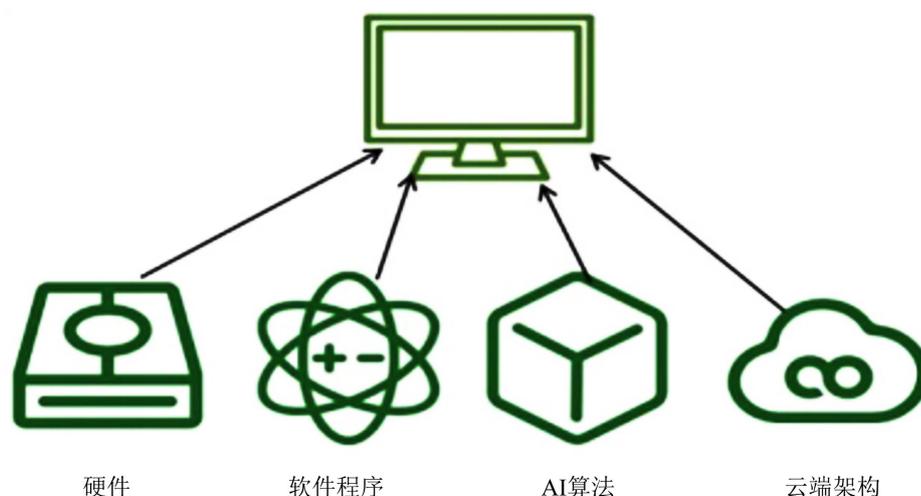


Figure 5. Beidou + AI + Cloud integrated architecture diagram

图 5. 北斗 + AI + 云一体化构架图

5.2.4. 环保供电系统

北斗智慧救生衣创新性引入弱光发电玻璃技术(见图 6)，其非晶硅材料可在阴天或水下弱光条件下(≥ 200 lux)持续充电，最大输出功率达 5 W。配合低功耗设计(休眠模式仅 $600 \mu\text{A}$)，有效减少传统电池更换频繁的问题，提高了产品的可持续性，增强了其在复杂环境下的可靠性。

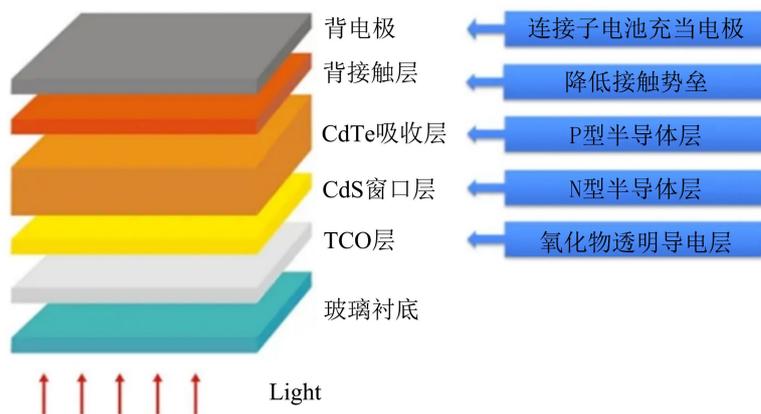


Figure 6. Beidou life jacket power glass

图 6. 北斗救生衣发电玻璃

5.3. 关键功能集成

5.3.1. 智能预警机制

在硬件系统中，通过对电池电压的实时监测实现低电压警报及故障指示灯功能。当电压 $< 3.4 \text{ V}$ 时，故障指示灯由常绿切换为高频红色闪烁，提示能源不足或设备异常。当穿戴者落水时，电路自动检测短路信号，触发 MQTT 协议与服务器连接，并每 30 秒同步一次位置数据，断网后 3 秒内重连，确保信息传输连续性和准确性。

5.3.2. 精准救援支持

通过云端北斗轨迹数据与 AI 算法结合，生成最佳救援路径，并结合小程序 UI 界面实时显示落水者位置、健康状态及环境参数。救援人员可远程发送指令(如“重启设备”或“切换定位模式”)，实现设备动态控制，大幅缩短搜救响应时间，实现精确救援。

5.3.3. AI 算法

北斗智慧救生衣采用了基于人工智能改进型 LSTM-BPTT 算法，结合各传感器数据，精准监测与推理落水人员的各项数据。该算法能够实时分析传感器数据，判断落水人员的健康状态，并通过小程序向救援人员提供详细信息。这一功能在落水人员失去意识或无法主动求救时尤为重要，为救援人员提供了全面的信息支持，从而制定更科学的救援方案。

6. 方案优势与创新

与早期的西姆通 SIM900A 和紫光展锐 8910DM 方案相比，基于移芯 EC618 和 Air780EG 模块的方案优势明显。在硬件设计上，以往方案存在设计复杂、测试困难、价格高等问题，如今的方案将 4G 与 GNSS 芯片集成，简化设计，降低成本，提高了性价比，并在 EC618 芯片上二次开发，无需额外单片机，实现全部控制逻辑。减少硬件层级，降低系统复杂度，提高系统稳定性和响应速度，为救生衣功能高效实现提供有力保障。在功能实现上，集成先进的通信与定位功能，弥补了传统方案的不足。

该方案技术创新成果显著。开发团队重写底层封装，充分发挥芯片特性，全面提升系统性能。其直接在 EC618 芯片上二次开发，无需额外单片机，实现全部控制逻辑。减少硬件层级，降低系统复杂度，提高系统稳定性和响应速度，为救生衣功能高效实现提供有力保障。

7. 结论

北斗智慧救生衣是一款兼具创新性和实用性的高科技产品，其精准定位、实时报警、健康监测等功能在海上搜救中具有显著优势，可显著提高救援效率和安全性，为落水人员提供可靠生命保障。产品设计兼顾用户体验和舒适性，性价比高，市场前景广泛。虽在电池容量、传感器防水性和信号覆盖等方面存在改进空间，但整体具有重要社会和经济效益，为海上安全和救生衣行业发展提供了新的方向。

目前，技术团队致力于 EC718 最新平台底层开发，持续进行硬件优化和器件级整合。未来，该技术方案有望在降低功耗、缩小尺寸和优化成本方面取得更大突破，推动海上救生设备向智能化、高效化发展，为全球海上安全事业做出更大贡献。

参考文献

- [1] 陈嘉龙. 多功能恒温救生衣设计[J]. 西部皮革, 2023, 45(21): 119-121.
- [2] 王馨盛, 周桃云, 杨柯. 复杂环境下基于卫星定位的智能救生衣设计[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊), 2020(9): 170-171.
- [3] 李培正, 万德松, 姚克波, 陈建林. 基于 AIS 的智能救生衣的设计和实现[J]. 中国水运, 2021(21): 5-7.
- [4] Matin, S. and Namayandegi, M.H. (2017) Desirability in Design for Safety: Developing Life Jacket through Creative Problem Solving Method of TRIZ. *The Design Journal*, **20**, S4758-S4760.
<https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1352982>
- [5] Neethu, P.S., Annalakshmi, T., Jesuwanth Sugesh, R.G., *et al.* () Intelligent Safety Life Jacket Using Wsn Technology. *2023 International Conference on the Confluence of Advancements in Robotics, Vision and Interdisciplinary Technology Management (IC-RVITM)*, Bangalore, 28-29 November 2023.
<https://doi.org/10.1109/IC-RVITM60032.2023.10435024>