■Ngày nhận bài: 22/9/2025 ■Ngày sửa bài: 08/10/2025 ■Ngày chấp nhận đăng: 22/10/2025

# Ứng dụng trí tuệ nhân tạo cho giao diện hiển thị trước mắt (HUD) hỗ trợ điều động USV trong môi trường cảng thông minh

## Application of artificial intelligence to a head-up display (HUD) supporting USV maneuvering in smart port environment

**> PGS.TS NGUYỄN ĐÌNH THẠCH**
Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email: thachnd.ddt@vimaru.edu.vn

**TÓM TẮT**

Xu hướng ứng dụng phương tiện tự hành mặt nước trong cảng biển thông minh trong khảo sát, theo dõi chất lượng môi trường nước và nguy cơ ô nhiễm ngày càng được phát triển. Trong khi USV vận hành trong cảng chịu ảnh hưởng bởi nhiều tác động môi trường như mưa, sương, ánh sáng sẽ làm giảm nhận thức tình huống và gây khó khăn cho điều động. Bên cạnh đó, công nghệ trí tuệ nhân tạo ứng dụng trong ngành Hàng hải giúp tăng cường khả năng điều động và ngăn chặn các tình huống nguy hiểm xảy ra. Bài báo đề xuất phương pháp xây dựng, phát triển AI-enabled HUD hiển thị ngay trong tầm nhìn để hỗ trợ điều khiển USV và giảm độ trễ, sai số điều hướng. Các cảm biến GNSS, IMU-9DOF, camera AI được tích hợp và hiển thị thông tin lên HUD. Phương pháp thử nghiệm dựa trên môi trường mô phỏng hàng hải và thực địa quy mô nhỏ tại cảng. Kết quả nghiên cứu cho thấy khả năng E2E latency < 100 ms, sai số ổn định overlay < 1,00 yaw, < 0,50 roll/pitch, giảm head-down time ≥ 20%. Nghiên cứu cho thấy khả năng ứng dụng mô hình cho nhiều đối tượng khác nhau và có thể đo lường được trong quá trình chuyển đổi số tại cảng thông minh.

**Từ khóa:** Trí tuệ nhân tạo; màn hình hiển thị thông tin trên tàu; giao diện người-máy; Unmanned Surface Vehicle; đơn vị đo lường quán tính có 9 bậc tự do (9DOF).

**ABSTRACT**

The use of autonomous surface vehicles (USVs) in smart seaports for surveying and monitoring water quality and pollution risks is rapidly accelerating. While USVs operating in ports are exposed to adverse environmental conditions, such as rain, fog and low light these factors can degrade situational awareness and complicate maneuvering. Additionally, the deployment of artificial intelligence in the maritime domain enhances maneuvering performance and helps prevent hazardous situations. This paper proposes an approach to designing an AI-enabled Head-Up Display (HUD) that renders information directly in the field of view to support USV control, reduce latency and minimize navigational errors. GNSS, a 9-DoF IMU and AI cameras are integrated, with fused outputs presented on the HUD. The system is evaluated using a small-scale maritime simulation and port field environment. Results show end-to-end latency <100 ms, overlay stability error <1.00 yaw and <0.50 roll/pitch and a ≥20% reduction in head-down time. The study demonstrates applicability across multiple target types and provides measurable indicators that support digital transformation in smart ports.

**Keywords:** Artificial intelligence; Head-Up Display (HUD); Human-Machine Interface (HMI); Unmanned Surface Vehicle (USV); 9-DoF Inertial Measurement Unit (IMU).

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xu hướng chuyển đổi số và xây dựng cảng biển thông minh ngày càng được tập trung và phát triển trong bối cảnh nền kinh tế thị trường trên thế giới, đặc biệt tại Việt Nam. Số lượng tàu thuyền ra vào cảng với mật độ lớn khiến hệ sinh thái dưới nước tại cảng chịu ảnh hưởng lớn và có nguy cơ ô nhiễm nghiêm trọng. Do đó, cần có các thiết bị theo dõi, phát hiện các nguy cơ tiềm ẩn từ môi trường cảng biển để có các biện pháp khắc phục. Các phương tiện tự hành mặt nước USV với chức năng theo dõi và phát hiện ô nhiễm trong khoảng diện tích rộng có thể làm tăng khả năng giám sát trong các khu vực cảng và gửi dữ liệu về trung tâm phục vụ nghiên cứu, phân tích. Tuy nhiên, do hoạt động trong khu vực phức tạp với nhiều đối tượng tĩnh và động cần phải có bộ điều khiển và hệ thống hỗ trợ linh hoạt kết hợp công nghệ trí tuệ nhân tạo. Với tầm nhìn hạn chế, biến đổi nhanh nên hệ thống cần phải có thiết bị hỗ trợ nhận thức tình huống trong điều kiện xấu. Trong khi nhiễu do dao động của camera, độ trễ từ đầu vào đến kết quả đầu ra dẫn đến đo lường và điều khiển khó khăn. Hiện nay, có nhiều nghiên cứu về công nghệ AR, HUD cho các phương tiện giao thông trên bờ như ô tô và máy bay, phương tiện tự hành UAV trong khi nghiên cứu cho USV trong môi trường cảng còn hạn chế. Trong nghiên cứu [1], Holder và cộng sự đã thử nghiệm tại phòng mô phỏng hàng hải của California Maritime Academy với nguyên mẫu HUD trên laptop và máy chiếu nhằm xác định yêu cầu vận hành và nhận thông tin thiết yếu, rủi ro và hiệu năng trong điều kiện môi trường khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình HUD hàng hải có tiềm năng lớn trong nhận thức tình huống. Trong công trình [2], một thiết bị HUD dựa trên LED hai hàng nhằm tăng cường nhận thức tình huống khi tầm nhìn kém trên buồng lái tàu và tại ROC. Hệ thống hiển thị các chế độ nước cạn, đất liền, hải đăng, tiêu, phao, giao thông hàng hải và được đánh giá trên mô phỏng cầu tàu.

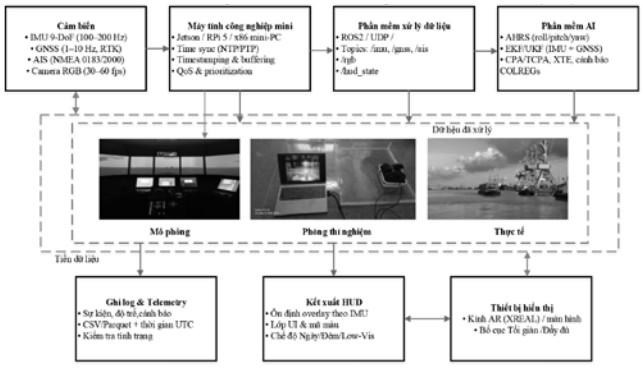
Các nghiên cứu khác tập trung vào chỉ báo tính toán CPA/TCPA. Trong nước, các công trình nghiên cứu về HUD cho hàng hải khá ít đặc biệt cho ASV, USV [3, 4]. Do đó, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đề xuất xây dựng AI-enabled HUD ổn định bởi IMU 9-DoF cho USV trong cảng. Đồng thời, thử nghiệm trong môi trường mô phỏng, phòng thí nghiệm và thực địa tại khu vực cảng Hải Phòng.

Nội dung bài báo được chia thành các phần sau: Mục 2 trình bày cơ sở lý thuyết xây dựng cấu trúc mô hình hệ thống. Xây dựng thuật toán và tích hợp thông số lên HUD thể hiện trong Mục 3. Mục 4 thực hiện các bước thử nghiệm kết quả và đánh giá hiệu suất mô hình. Cuối cùng, Phần kết luận và hướng phát triển được mô tả ở Mục 5.

## 2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH CẤU TRÚC AI-ENABLED HUD

### 2.1. Kiến trúc mô hình hệ thống AI-Enabled HUD

Một mô hình cấu trúc hệ thống HUD-USV được tác giả đề xuất như Hình 1 [5, 6].



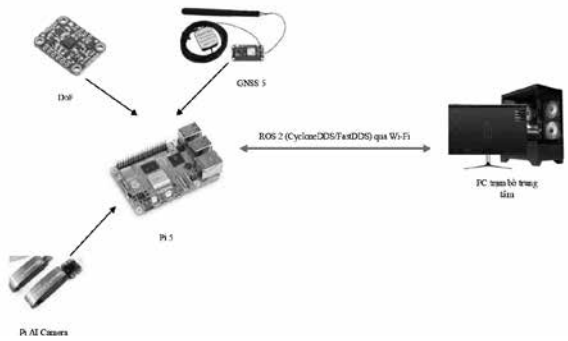

Hình 1. Sơ đồ kiến trúc hệ thống AI-Enabled HUD

Hệ thống gồm các khối chức năng sau [4-6]:

- Khối cảm biến: Bao gồm các cảm biến 9-DoF, GNSS, camera thu thập dữ liệu, hình ảnh từ các môi trường khác nhau như mô phỏng, phòng thí nghiệm và thực tế tại cảng.
- Khối máy tính công nghiệp Mini: Có chức năng chạy các phần mềm xử lý, phân tích tiền dữ liệu và gửi về trung tâm.
- Khối phần mềm xử lý dữ liệu: Chia các tập dữ liệu thành các nhóm dữ liệu khác nhau và chuẩn hóa trước khi huấn luyện AI.
- Khối hợp nhất và AI: Với nhiệm vụ là thực hiện dữ liệu đã xử lý, kết hợp mô hình AI như YOLO, CNN để tính toán các chỉ số trong bài toán điều động.
- Khối HUD: Kết quả được đưa tới kết xuất HUD để ổn định overlay theo IMU, áp dụng lớp UI (mã màu, chế độ Ngày/Đêm/Low) và phát tới thiết bị hiển thị (kính AR/màn hình). Toàn bộ sự kiện, độ trễ cảnh báo được ghi vào ghi log & Telemetry (CSV/Parquet, UTC) phục vụ đánh giá.

### 2.2. Xử lý dữ liệu IMU, GNSS

Hình 2 mô tả cấu trúc phần cứng của IMU, GNSS thu thập về máy tính và truyền về trạm [7, 8].




Hình 2. Sơ đồ cấu trúc phần cứng của thiết bị thu thập DoF và GNSS

Chức năng của DoF bao gồm IMU 9-DoF đo roll, pitch, yaw, gia tốc và từ trường được đặt trên USV. Thiết bị GNSS thu thập vị trí COG, SOG. Camera AI phù hợp cho Raspberry Pi 5 có tích hợp cảm biến thị giác và được cài đặt mô hình thị giác MobileNet. Máy tính Raspberry Pi 5 nhận dữ liệu từ cảm biến và thiết lập theo thời gian. Máy tính PC chạy phần mềm HUD hiển thị heading/roll/pitch, SOG/COG, cảnh báo. Đặc biệt, yếu tố quan trọng trong quá trình truyền nhận dữ liệu là thời gian. Thời gian cho một quá trình phải ngắn nhất và độ trễ gói dữ liệu thấp nhất. Độ trễ truyền nhận dữ liệu được tính như sau [4]:

$$t_{E2E} = t_{\mathrm{dis,k}} - t_{sen,k} \quad (1)$$

*Trong đó:*

$t_{\mathrm{dis,k}}$ - Thời gian hiển thị hình ảnh *k*; $t_{\mathrm{sen,k}}$ - Thời gian nhận dữ liệu từ cảm biến thứ *k*.

Tiếp theo, dữ liệu đầu vào đối với IMU cần hiệu chuẩn:

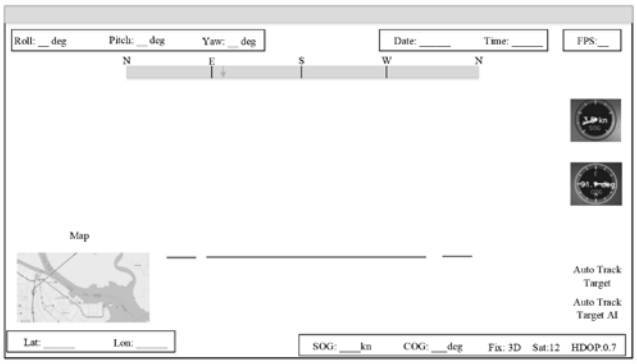
$$y_k = \boldsymbol{\alpha} x_k + (1-\boldsymbol{\alpha}) y_{k-1}; \boldsymbol{\alpha} = \frac{\Delta t}{\boldsymbol{\tau} + \Delta t} \quad (2)$$

### 2.3. Xây dựng giao diện HUD

Trong nghiên cứu này, tác giả xây dựng giao diện của HUD để hiển thị các thông số cơ bản của USV. Dữ liệu được thu thập từ các thiết bị sau đó hiển thị lên giúp người điều khiển dễ quan sát. Hình 3 thể hiện giao diện HUD được thiết kế dựa trên VS code [7, 9, 10].

Mục tiêu khi thiết kế giao diện cho HUD cần đảm bảo đầy đủ thông tin cần thiết cho quá trình theo dõi và điều khiển. Vùng trung tâm hiển thị video thực tế thu thập từ camera gắn trên USV có chức năng quan sát và theo dõi theo thời gian thực. Bên cạnh đó, hai đồng hồ chỉ thị SOG và COG của USV. Khung hình hiển thị trạng thái

cho USV như pin, GPS, chế độ. Một bản đồ minimap cho phép quan sát tọa độ thực tế của USV [5, 6, 11, 12].

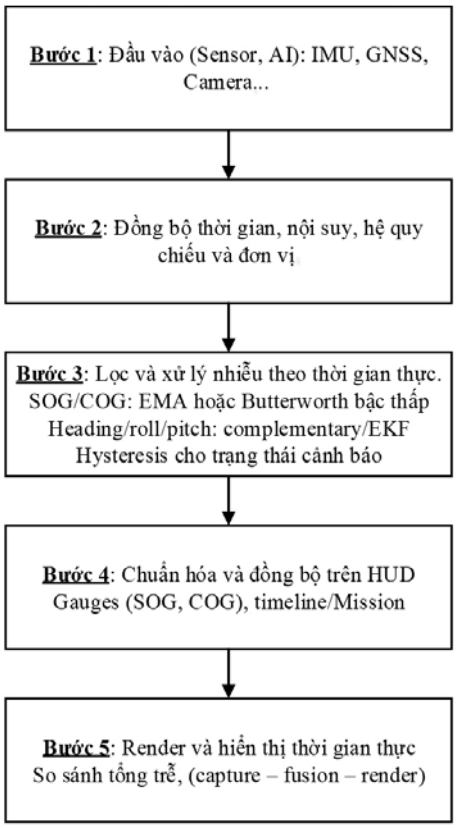



Hình 3. Giao diện tổng quan HUD của USV

## 3. PHÁT TRIỂN THUẬT TOÁN HIỂN THỊ TRỰC QUAN ỨNG DỤNG AI

### 3.1. Phương pháp tích hợp thông số trên HUD

Sau khi thiết kế giao diện, tác giả dựa trên các thông tin của USV để tích hợp, xử lý vào giao diện của HUD. Các bước tích hợp thông số thể hiện trong Hình 4 như sau:




Hình 4. Các bước thực hiện tích hợp dữ liệu lên HUD

Hình 4 trình bày các bước thực hiện tích hợp thông số lên HUD bao gồm đồng bộ thời gian, chuẩn hóa dữ liệu đầu vào trong bước 1. Tiếp theo, dữ liệu được đưa về cùng một hệ quy chiếu và đơn vị chung trong hàng hải. Bước 3 lọc nhiễu và ổn định dữ liệu theo thời gian thực. Dữ liệu SOG/COG bậc thấp (latency < 50 ms), Heading/roll/pitch được trích xuất từ (IMU + GNSS/compass). Bước 4 chuẩn hóa và đồng bộ như các đối tượng Gauge SOG/COG ánh xạ min, max và vùng màu. Cuối cùng, Bước 5 là hiển thị dữ liệu với độ trễ thấp hơn 120 ms.

### 3.2. Xây dựng thuật toán AI xử lý dữ liệu cảnh báo trên HUD

USV hoạt động trên cảng đối mặt nhiều vật cản động và tĩnh, do đó nhận biết vật cản và đưa ra các thông số cần thiết cho từng đối tượng là cần thiết và đặc biệt trong tránh va. Nhiệm vụ của AI trong mô hình này là phải đảm bảo phát hiện mục tiêu và hiển thị lên HUD. Đồng thời, từ dữ liệu sẵn có để tính toán và đưa ra cảnh báo trong màn hình HUD. Thuật toán 1 trình bày cấu trúc xử lý và cảnh báo đối với dữ liệu thực tế của USV [13, 14].

*//Thuật toán 1*

1. BEGIN
2. Params: FPS←30, N_TOP←8, TH_ON/TH_OFF←0.70/0.60, COOLDOWN←3s
3. Init streams: RGB, TH, LiDAR/Radar, AIS, IMU, GNSS
4. Load models: YOLO, Segmenter, Tracker, DepthRange
5. Init HUD layers; Alert←OFF
6. LOOP at FPS:
7. t←now(); SyncRead {RGB,TH,LiDAR,AIS,IMU,GNSS}→t
8. state←Fuse(IMU,GNSS) // pose,SOG,COG
9. det←FuseLate( YOLO(RGB), YOLO(TH) )
10. trk←Tracker.update(det)
11. FOR each k in trk:
12. {r,br}←EstimateRB(k,state,LiDAR); {cpa,tcpa}←CPA(k,state)
13. k.risk←Score(k.class,k.conf,r,tcpa, env=light/weather)
14. END FOR
15. top←Take( Sort(trk by risk↓), N_TOP ); labels←Place(top)
16. overlays←Compose(top, labels, Segmenter(select(RGB,TH)))
17. gauges←{SOG:state.SOG, COG:state.COG}; map←Minimap(state.pose,AIS)
18. timeline←MissionProgress(Waypoints, state.pose)
19. Alert←Hysteresis(Alert, Max(top.risk), TH_ON, TH_OFF, COOLDOWN); RenderHUD(RGB, overlays, gauges, map, timeline, Alert)
20. END LOOP;
21. END

## 4. THỬ NGHIỆM KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ

### 4.1. Kịch bản thử nghiệm

Đánh giá khả năng của mô hình trên, nhóm tác giả đã xây dựng kịch bản thử nghiệm trong ba môi trường là mô phỏng, phòng thí nghiệm và thực tế để đánh giá kết quả và các tính năng. Hình 5 mô tả cấu trúc phần cứng thử nghiệm [5, 6], [10-12].


Hình 5. Phần cứng hệ thống giám sát và HUD

Bảng 1 mô tả các kịch bản thử nghiệm, nội dung và yêu cầu để đạt được.

Bảng 1. Kịch bản thử nghiệm HUD trong các điều kiện khác nhau

| STT | Kịch bản | Nội dung thử nghiệm | Yêu cầu cần đạt |
|---|---|---|---|
| 1 | A - Mô phỏng USV | Tiến hành thử nghiệm kiểm tra bố cục HUD, lớp điều hướng (Heading/COG/SOG), chạy các cấu hình biển (calm, moderate, rough), tầm nhìn (clear, haze), tốc độ (3, 6, 10 kn). - Điều động bám 3 waypoint/phiên, ghi log FPS, latency, CPU/GPU. | - RMSE Heading/COG ≤ $2^0$; RMSE SOG ≤ 0,5 kn; XTE p95 ≤ 2 m. Độ trễ đầu–cuối ≤ 120 ms; FPS ≥ 10. |
| 2 | B - DoF/ LAB (hiệu chuẩn IMU) | So sánh bộ lọc, kiểm tra dữ liệu và độ rung; tinh chỉnh dữ liệu. | RMSE roll/pitch ≤ $1,0^0$, yaw ≤ $1,5^0$ - Drift 30′ ≤ $0,5^0$; giảm PSD rung 0,5-3 Hz ≥ 40%; thời gian hội tụ < 5s; Overlay Stability p95 ≤ $0,3^0$. |
| 3 | C - Thực địa tại cảng | Chạy 3 chặng: Dọc bến, qua khu neo, tiệm cận waypoint gần phao; thử chế độ cảnh báo CPA/TCPA. | Sai số vị trí p95 ≤ 3 m (RTK) / ≤ 7 m (non-RTK); sai số heading ≤ $2,5^0$; cảnh báo CPA/TCPA: Precision ≥ 0,90, Recall ≥ 0,85. |

**4.2. Kết quả và đánh giá**

Kết quả thử nghiệm đối với kịch bản A được thể hiện trong Hình 6 [10, 14].


Hình 6. Giao diện HUD trong thử nghiệm tại cảng biển trong mô phỏng

Hình 6 thể hiện giao diện HUD dựa trên dữ liệu GNSS và IMU để hiển thị các giá trị và đường màu trắng thể hiện góc nghiêng của USV. Các thiết bị đo tốc độ và hướng có thể đọc được ngay lập tức và hiển thị trên đồng hồ đo SOG (~3,5 hải lý/giờ) và đồng hồ đo COG (~$91^0$) để tránh nhầm lẫn [15].

Bảng 2. Kết quả thử nghiệm cho kịch bản A

| Thông số | Yêu cầu | Thực tế | Kết luận |
|---|---|---|---|
| SOG | 2-5 kn (điều động an toàn) | ~3,5 kn | Đạt |
| COG | Hiển thị nhất quán | ~$91^0$, đồng nhất gauge & bar | Đạt |
| Dist → WP | ≤ 30 m trước khi chuyển WP | ~0,02 km (~20 m) | Đạt |
| Bearing | Cập nhật & rõ ràng | ~$333,8^0$ | Đạt |
| XTE | \|XTE\| ≤ 1,0 m | 0,1 m | Đạt |
| CPA | ≥ 50 m (an toàn) | ~64 m | Đạt |
| GNSS | Fix 3D; Sat ≥ 8; HDOP ≤ 1,0 | Fix 3D; Sat=12; HDOP=0,7 | Đạt |
| FPS | ≥ 10 | ~12–13 | Cần cải thiện |

Bảng 2 thể hiện kết quả thử nghiệm đối với kịch bản A và đều đạt các yêu cầu đặt ra. Các giá trị đều cho phép theo dõi thời gian thực.

Hình 7 thể hiện kết quả trong điều kiện môi trường khác nhau [9].


Hình 7. Kết quả thử nghiệm trong điều kiện thời tiết xấu

Trong khi đó, Hình 7 cho thấy dữ liệu hiển thị trong điều kiện thời tiết xấu. Chỉ số CPA xấp xỉ 30,3 m trong điều kiện sương mù và tầm nhìn kém.

Kết quả thử nghiệm kịch bản B trong phòng thí nghiệm như Hình 8. Thiết bị DoF được thử nghiệm trong bể nước có dao động. Dữ liệu thu về cho thấy dao động thực tế và ổn định lọc nhiễu tốt.

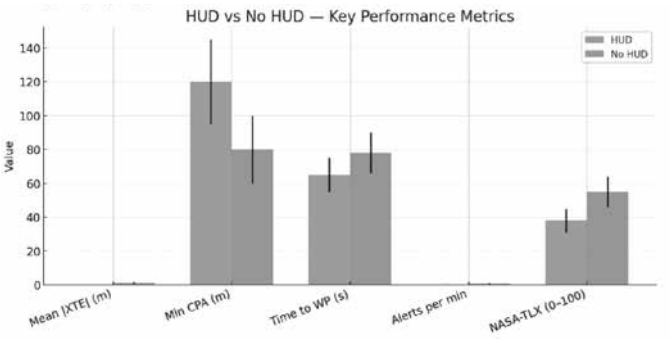
Hình 8. Kết quả thử nghiệm trong phòng thí nghiệm

Độ ổn định và hiển thị tốt giá trị pitch khoảng $12,5^0$, roll xấp xỉ $5,1^0$ đúng với tư thế mô hình. Độ trễ camera thấp phù hợp với thử nghiệm HUD ban đầu. Tuy nhiên, thực tế DoF có khả năng nhiễm từ trong nhà làm lệch giá trị yaw.


Hình 9. Kết quả thử nghiệm trong phòng thí nghiệm

Hình 9 thể hiện kết quả thực nghiệm tại cảng khu vực Hải Phòng. Nhóm tác giả thử nghiệm mô hình HUD trên khu vực cảng biển để đo các thông số cơ bản. Trong bối cảnh cảng, HUD hiển thị rõ ràng các tham số điều hướng với khoảng cách tới vật cản khoảng 0,02 km, XTE = 0,2 m, cho thấy phát hiện chính xác [7, 8, 11].

Kết quả Hình 10 so sánh giữa hai mô hình cho thấy biểu đồ cột cho thấy phương án có HUD vượt trội so với không HUD ở hầu hết chỉ số: Độ lệch tuyến trung bình |XTE| thấp hơn rõ rệt, CPA tối thiểu cao hơn. Thời gian tới waypoint ngắn hơn, số cảnh báo mỗi phút ít hơn và tải nhận thức (NASA-TLX) thấp hơn. Trong tương lai, cần cải thiện độ lệch giữa các khung hình và các tham số của HUD [6-8], [11].




Hình 10. Kết quả so sánh giữa hai phương pháp có và không có HUD

## 5. KẾT LUẬN

Ứng dụng công hệ AI vào lĩnh vực hàng hải kết hợp công nghệ trí tuệ nhân tạo đang là xu hướng đối với cảng thông minh hiện nay. Bài báo này đã đề xuất, xây dựng được giao diện HUD cho USV trong cảng để hiển thị các thông số cần thiết cho quản lý, điều hướng trong cảng. Ngoài ra, kết hợp với mô hình AI trong dự đoán và cảnh báo va chạm cho USV với các vật cản tĩnh và động. Kết quả nghiên cứu cho thấy đã thử nghiệm một số yêu cầu và đáp ứng được để có thể phát triển và thử nghiệm mô hình thực tế trong tương lai.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. E. Holder and S. Pecota (Oct. 2011), Maritime Head-Up Display: A Preliminary Evaluation, J. Navig., vol.64. doi: 10.1017/S0373463311000191.

[2]. F.-M. Petermann, O. Alsos, E. Papachristos, C. Andersen and A. Madsen (Aug., 2025), Maritime Head-up Display (mHUD): A safety-enhancing navigational tool for ship bridges and remote operation centres, J. Navig., pp.1-25. doi: 10.1017/S0373463325101124.

[3]. S. Qu, X. Men, M. Liu, J. Cui, H. Wu and Y. Fu (2025), Navigation Attitude Prediction for Unmanned Surface Vessels in Wave Environments Using Improved Unscented Kalman Filter and Digital Twin Model, Journal of Marine Science and Engineering, vol.13, no.5. doi: 10.3390/jmse13050932.

[4]. M. Warburton, M. Mon-Williams, F. Mushtaq and J. R. Morehead (2023), Measuring motion-to-photon latency for sensorimotor experiments with virtual reality systems, Behav. Res. Methods, vol.55, no.7, pp.3658-3678. doi: 10.3758/s13428-022-01983-5.

[5]. F. Laera et al. (2021), Augmented reality for maritime navigation data visualisation: a systematic review, issues and perspectives, J. Navig., vol.74, no.5, pp.1073-1090. doi: DOI: 10.1017/S0373463321000412.

[6]. C. Chauvin, F. Said and S. Langlois, Augmented reality HUD vs. conventional HUD to perform a navigation task in a complex driving situation, Cogn. Technol. Work, vol.25, no.2, pp. 217-232, 2023. doi: 10.1007/s10111-023-00725-7.

[7]. K.-Y. Tsai and C.-C. Fang (2025), Analysis of real-time ship manoeuvring simulation with a ship collision avoidance E-navigation aid system, Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng., vol.17, p.100669. doi: https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2025.100669.

[8]. M.-C. Fang, K.-Y. Tsai and C.-C. Fang (2018), A Simplified Simulation Model of Ship Navigation for Safety and Collision Avoidance in Heavy Traffic Areas, J. Navig., vol.71, no.4, pp.837-860. doi: 10.1017/S0373463317000923.

[9]. L. Liker, D. Bačnar, D. Barić, and M. Jardas (2025), Translating FlexSim Models into Virtual Reality Environments, in 2025 MIPRO 48th ICT and Electronics Convention, pp.1582-1586. doi: 10.1109/MIPRO65660.2025.11131880.

[10]. K. Esselle, K. Singh, D. Thalakotuna, M. N. Y. Koli and F. Ahmed (2023), Beam-Steering Antenna Technologies for Space-Related Applications, in 2023 17th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), pp.1-5. doi: 10.23919/EuCAP57121.2023.10133579.

[11]. A. Singh et al. (2024), Enhancing Marine Navigation Performance Using the Head-Up Interface, in 2024 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC), pp.496-502. doi: 10.1109/SMC54092.2024.10831001.

[12]. O. S. Hareide and R. Ostnes (2017), Maritime Usability Study by Analysing Eye Tracking Data, J. Navig., vol.70, no.5, pp.927-943. doi: DOI: 10.1017/S0373463317000182.

[13]. T. ROSS and G. BURNETT (2001), Evaluating the human-machine interface to vehicle navigation systems as an example of ubiquitous computing, Int. J. Hum. Comput. Stud., vol.55, no.4, pp.661-674. doi: https://doi.org/10.1006/ijhc.2001.0495.

[14]. G. li et al., Development of Data Visualization Interface in Smart Ship System, 2020, pp.219-226. doi: 10.1007/978-981-15-2341-0_27.

[15]. G. li et al. (2020), Research on Data Monitoring System for Intelligent Ship, pp.234-241. doi: 10.1007/978-981-15-2341-0_29.