



IV SYMPOZJUM TECHNIKI MOTOROWODNEJ

Architektura sterowania POWERboat

WPROWADZENIE

System działa od warstwy wysokopoziomowego planowania trasy, aż po najniższy poziom wykonawczy, czyli bezpośrednie sterowanie wychyleniem steru i ciągiem silnika.

Planer globalny

Planowanie globalne wykorzystuje **algorytm A*** do szybkiego wyznaczenia prostej ścieżki na dalekich dystansach.

Planer lokalny

Planer lokalny opiera się na algorytmie przeszukania respektującym limity promienia skrętu oraz bezwładności łodzi¹, zapewniając bezpieczne omijanie przeszkód.

Sterowanie predykcyjne

Sercem układu jest zaawansowany algorytm **sterowania predykcyjnego**², który optymalizuje ścieżkę na podstawie modelu matematycznego³.

Sterowanie niskopoziomowe

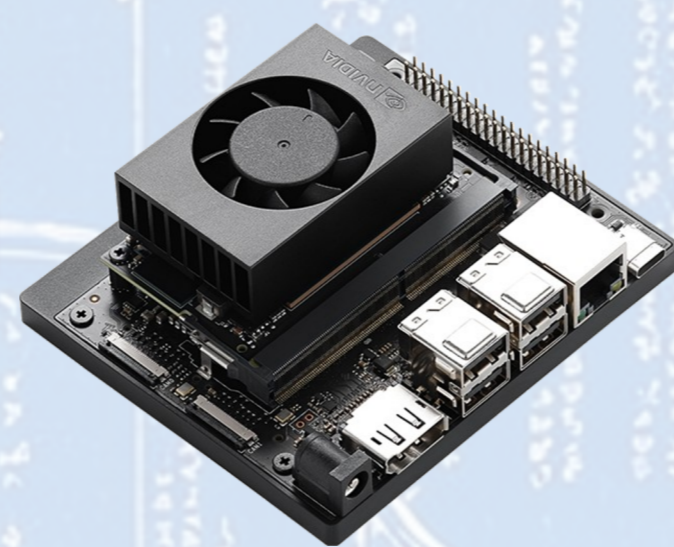
Bezpośrednia kontrola sprzętu odbywa się za pomocą **mikrokontrolera RP2040**. Otrzymuje on dane ustawienia kąta steru oraz prędkości silnika i je reguluje dzięki prostej regulacji PID.

CEL BADAŃ

Celem projektu jest opracowanie, implementacja oraz walidacja potoku sterowania, który na podstawie zadanego punktu docelowego umożliwia jednostce pływającej w pełni autonomiczną i bezpieczną nawigację.

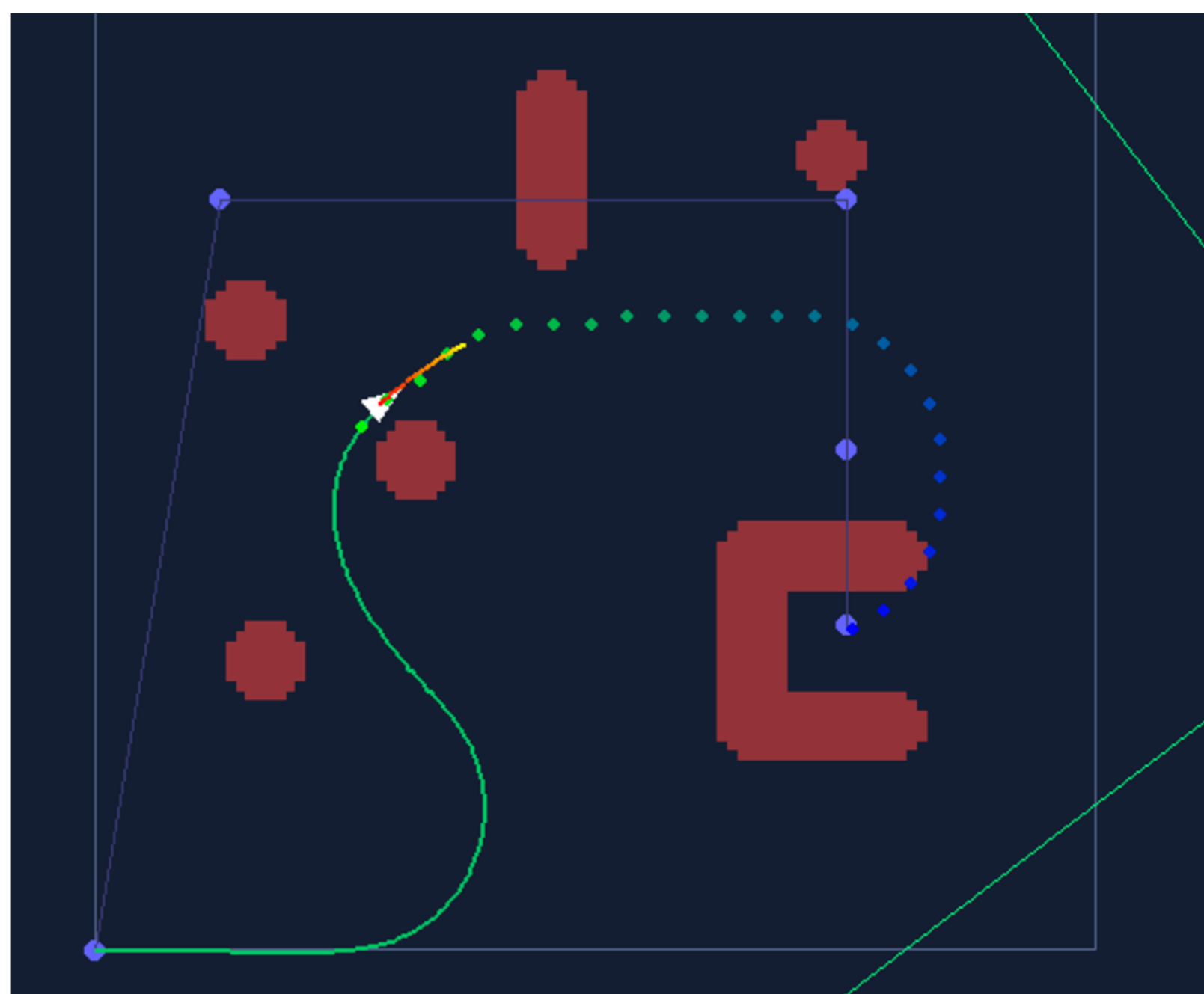
METODOLOGIA

Głównym narzędziem weryfikacji pipeline'u sterowania jest nasz autorski symulator 2D. Wykorzystujemy w nim złożony model kinodynamiczny łodzi i sprawdzamy odporność algorytmów na wprowadzane zakłócenia fizyczne. Badamy czas domykania pętli decyzyjnej oraz weryfikujemy bezpieczeństwo omijania przeszkód i jakość sterowania.



WYNIKI BADAŃ

Jakość podążania za ścieżką oceniliśmy za pomocą procentowego wskaźnika dopasowania NMRSE. Bez zakłóceń osiąga on wartość **99,6%**. Po dodaniu niewielkich szumów pomiarowych ($\pm 0,8$ m dla pozycji, $\pm 0,8^\circ$ dla kąta) wskaźnik ten wynosi **97,0%**. Algorytm przeszukiwania ścieżki oraz algorytm podążania za ścieżką wykonuje się w okolicach **10ms**.



WNIOSKI

- **Działanie w czasie rzeczywistym:** Opracowane algorytmy z powodzeniem wyznaczają i optymalizują ścieżkę autonomiczną w restrykcyjnych oknach czasowych, umożliwiając płynną nawigację.
- **Odporność na zakłócenia i ograniczenia:** System sterowania charakteryzuje się dużą stabilnością. Skutecznie kompensuje wprowadzane szумы symulacyjne oraz sprawnie radzi sobie z konserwatywnymi ograniczeniami wynikającymi z fizycznej bezwładności łodzi.
- **Gotowość do wdrożenia na wodzie:** Pozytywne i powtarzalne wyniki uzyskane w zaawansowanym środowisku symulacyjnym stanowią solidne potwierdzenie naszych założeń projektowych. Daje to wysoką pewność, że zaprojektowany potok sterowania zachowa swoją niezawodność i skuteczność podczas rzeczywistych testów na wodzie.

[1] Practical Search Techniques in Path Planning for Autonomous Driving - Dmitri Dolgov et al.

[2] Robust Model Predictive Control: A Survey - Alberto Bemporad and Manfred Morari

[3] Fossen's Marine Craft Model - Thor I. Fossen