

Roboty Mobilne Sprawozdanie z projektu

SLAM monookularowy z wykorzystaniem IMU w nawigacji robota podwodnego

1. Wstęp i cel projektu

Sprawne i dokładne określanie pozycji robota znajdującego się pod wodą jest skomplikowanym zadaniem ze względu na warunki panujące w otoczeniu robota. Słaba propagacja fal elektromagnetycznych w wodzie praktycznie uniemożliwia wykorzystanie systemu nawigacji satelitarnej (GNSS). Wpływ prądów wody powoduje powstawanie błędów lokalizacji w momencie, gdy robot nie jest wyposażony w jednostkę inercyjną. Jednym z rozwiązań problemu nawigacji może być użycie systemu opartego o systemy akustyczne z transponderami, lecz wymaga to instalacji systemu w obszarze pracy robota. Odmiennym rozwiązaniem, niewymagającym wykorzystania dodatkowych urządzeń, jest wykorzystanie algorytmu SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) w połączeniu z danymi otrzymanymi z jednostki inercyjnej (IMU). Rozwiązanie to umożliwia mapowanie terenu oraz nawigację po nim z wykorzystaniem kamer oraz IMU bez użycia zewnętrznych systemów pomocniczych. W tym projekcie zdecydowano wykorzystać algorytm SLAM oparty o jedną kamerę, co upraszcza konstrukcję systemu nawigacyjnego kosztem zwiększonej złożoności obliczeniowej.

Celem projektu było zaimplementowanie systemu nawigacji robota podwodnego w oparciu o SLAM wykorzystujący jedną kamerę oraz jednostkę inercyjną. Kolejnym założeniem była prawidłowa funkcjonalność w środowisku wodnym, która wymagała implementacji algorytmów przetwarzania obrazów.

Projekt został zrealizowany wraz z grupą japońskich studentów w ramach wymiany z uniwersytetem Kansai University w Osace.

2. Przebieg prac

W pierwszym etapie projektu postanowiono zaimplementować własny algorytm realizujący odometrię w oparciu o obraz z kamery oraz wykorzystując bibliotekę OpenCV. W każdej z klatek obrazu wykrywane zostawały punkty kluczowe, następnie obliczane było przesunięcie tychże punktów w kolejnych klatkach. Na podstawie przesunięć punktów, została określona translacja kamery w przestrzeni dwuwymiarowej. Wysoko złożoność matematyczna problemu określenia rotacji oraz translacji kamery wraz z problemem określenia głębi w obrazie, przyczyniły się do zastosowania odometrii opartej na algorytmie ORB.

Za pomocą algorytmu RASNAC estymowano przesunięcia punktów a tym samym geometryczne przekształcenia obrazu, które pozwalały na określenie translacji oraz rotacji kamery. Algorytm działał poprawnie, lecz nie pozwalał na określenie pozycji robota w stosunku do terenu, tylko względem poprzednich klatek obrazu z kamery. Uniemożliwiał on także mapowanie terenu.

Ze względu na ograniczony czas, przeznaczony na realizację projektu, zdecydowano się wykorzystać otwartoźródłowy algorytm SLAM pracujący z jedną kamerą - SLAM. Algorytm ten należało zmodyfikować tak, aby możliwe było wprowadzanie do niego danych zarówno w czasie rzeczywistym z kamery jak i uruchomienie algorytmu na nagraniu, gdyż domyślnie algorytm pracuje w oparciu o gotowe zestawy danych.

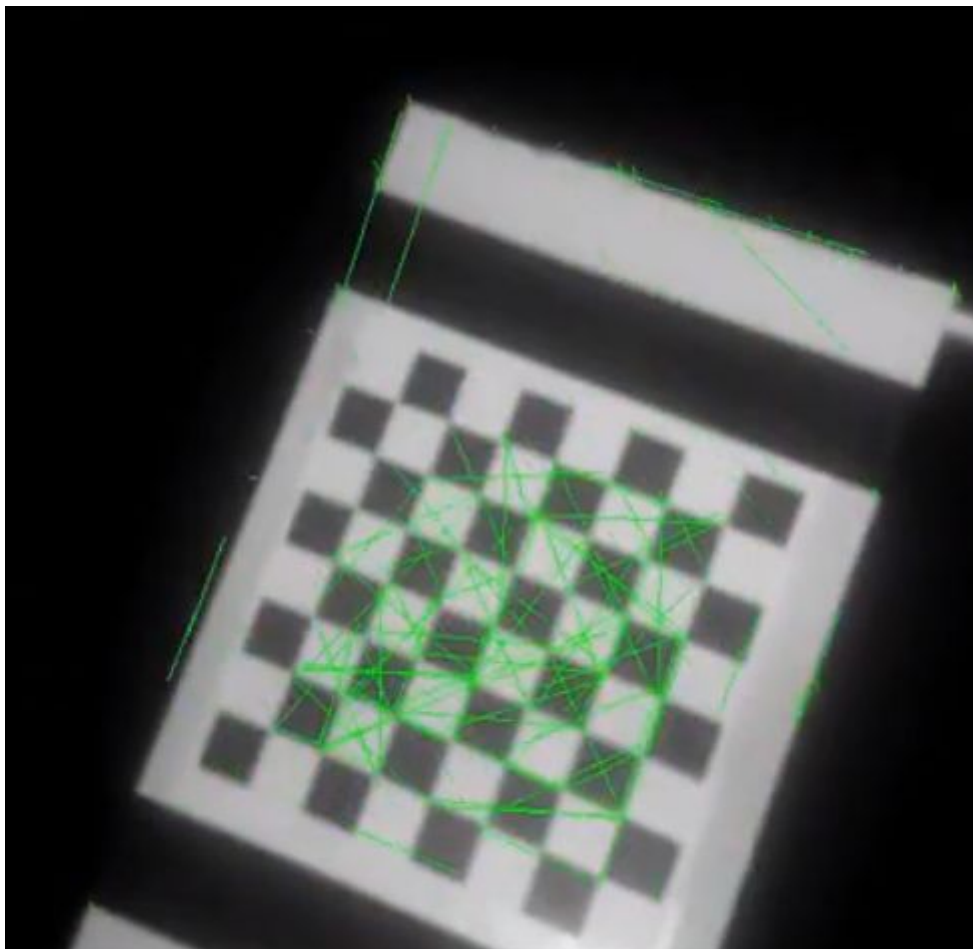
Po zmodyfikowaniu i pomyślnym uruchomieniu algorytmu podjęto się próby modyfikacji obrazu poprzez jego wyostrzenie oraz zredukowanie zniekształceń i niepożądanych zakłóceń (zamglenie oraz odbicia lampy). Konieczność takowego przetwarzania obrazu wynika z faktu, że obraz otrzymany pod wodą zawierał o wiele mniej punktów kluczowych identyfikowanych przez algorytm SLAM, przez co jego praca nie była stabilna. Wyostrzenie obrazu zostało zrealizowane poprzez splot obrazu z maską filtru górnoprzepustowego:

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

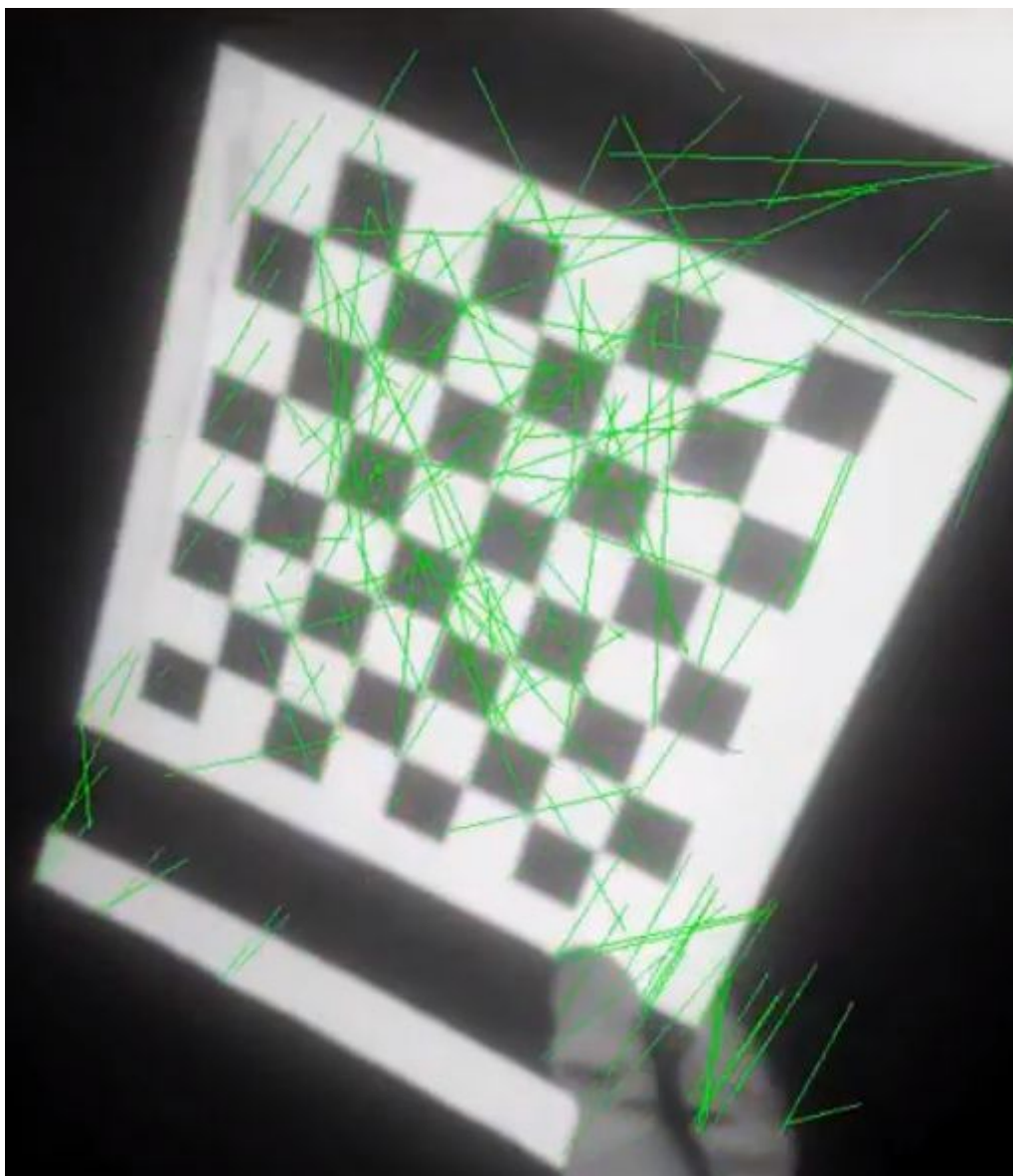
Rys. 1. Maska filtru górnoprzepustowego

Wykonanie wyostżania spowodowało znaczącą poprawę rozpoznawania punktów kluczowych na obrazie, przez co algorytm działał stabilnie nawet w przypadku słabej jakości obrazu wejściowego. W dalszej części przetwarzania obrazu zaimplementowano algorytm dehazingu, czyli usuwania mgły z klatek z kamery w celu zwiększenia kontrastu obrazu a co za tym idzie poprawienia detekcji punktów kluczowych. Algorytm ten dawał zadowalające wyniki, lecz z powodu wysokiej złożoności obliczeniowej zastosowanej implementacji nie został on zastosowany w projekcie. Implementacja algorytmu dehazingu oraz wyostżania została zrealizowana przez japońskich studentów.

Kamera zamontowana w robocie była odizolowana od środowiska wodnego za pomocą przezroczystej kopułki, przez co obraz rejestrowany przez kamerę był zniekształcony. W celu usunięcia powstałej dystorsji stworzona została procedura kalibracji. Polega ona na zarejestrowaniu za pomocą kamery szachownicy kalibracyjnej a następnie wprowadzenie geometrycznego przekształcenia obrazu tak, aby szachownica miała zachowane wszystkie kąty proste:



Rys. 2. Pomiar zniekształceń obrazu na podstawie analizy szachownicy kalibracyjnej



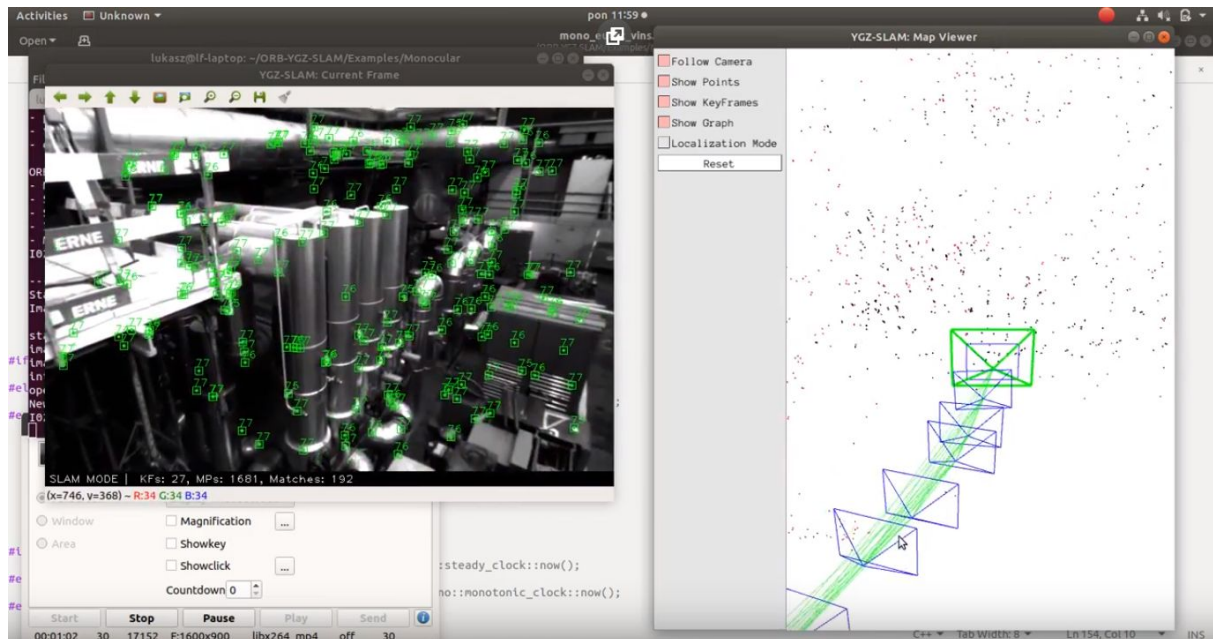
Rys. 3. Pomiar zniekształceń obrazu na podstawie analizy szachownicy kalibracyjnej

Ostatnią częścią projektu była integracja danych uzyskanych z algorytmu SLAM z danymi otrzymywanymi z jednostki inercyjnej. Dane z IMU poddawane były fuzji w rozszerzonym filtrze Kalmana a następnie dane określające orientację robota w przestrzeni zostały połączone z pozycją określoną przez SLAM za pomocą filtra komplementarnego, gdzie dane uzyskane z algorytmu SLAM miały większą wagę niż orientacja uzyskana z IMU. W trakcie testów wykazano, że fuzja algorytmu z danymi pozwoliła na większą precyzję lokalizacji oraz zwiększała szybkość powrotu algorytmu do ponownego śledzenia w przypadku utraty śledzenia.

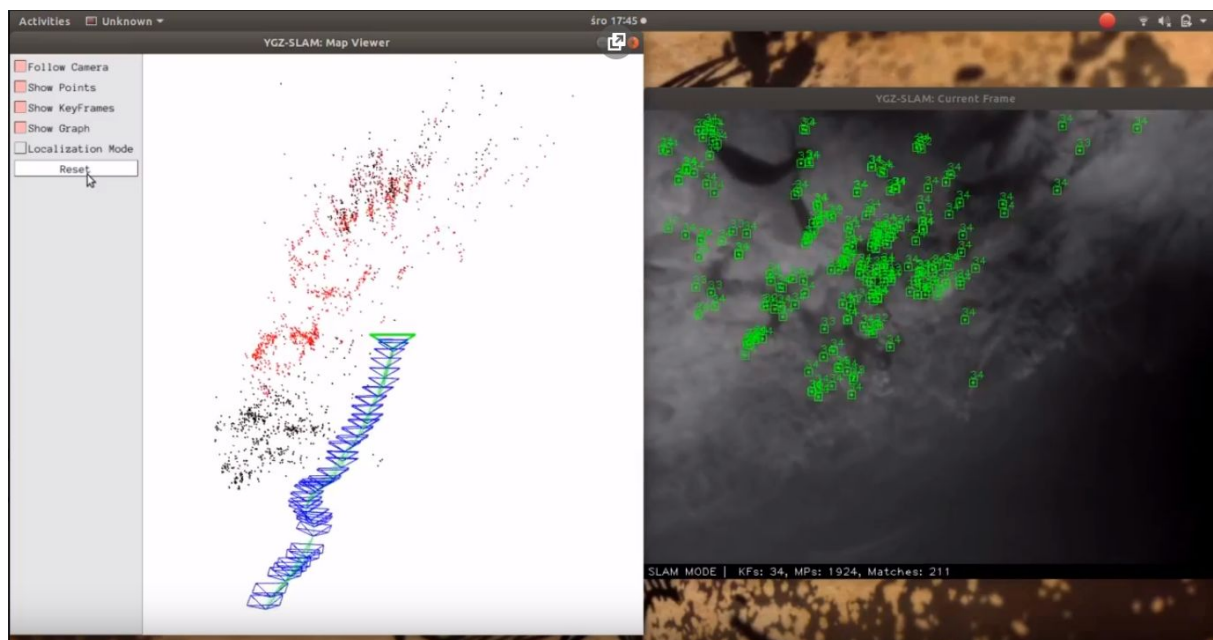
3. Testy

Pierwsze testy algorytmów wykonane zostały na gotowych zestawach danych w celu weryfikacji poprawności działania algorytmu. W kolejnych etapach danymi

wejściowymi były nagrania oraz pomiary z jednostki inercyjnej wykonane przez robota pod wodą.



Rys. 4. Działanie algorytmu na gotowym zestawie danych EuRoC



Rys. 5. Działanie algorytmu na nagraniu z kamery umieszczonej pod wodą

4. Podsumowanie

W wyniku pracy nad projektem udało się zrealizować założone cele. System pracował w oparciu o algorytm SLAM wraz z fuzją z danymi z czujników inercyjnych. Ze względu na bardzo niską wykrywalność punktów charakterystycznych w środowisku podwodnym, zastosowano algorytmy przetwarzania obrazu, dzięki

którym udało się osiągnąć większą wykrywalność punktów - wyostanie, dehazing, usuwanie maski świetlnej. W celu zapewnienia poprawnej analizy obrazu, należało usunąć zniekształcenia geometryczne wprowadzone przez kopułkę osłaniającą kamerę oraz samą kamerę.

Testy działania algorytmu na gotowym zestawie danych wykazały jego poprawne działania oraz wysoką skuteczność w mapowaniu terenu oraz określaniu pozycji robota. Ilość znalezionych punktów charakterystycznych, a tym samym, dokładność mapowanego terenu, była ograniczona głównie przez moc jednostki obliczeniowej, nie poprzez specyfikę działania algorytmu.

Testy w środowisku podwodnym wykazały zasadność wykorzystania operacji przetwarzania obrazu, zwiększając ilość wykrytych punktów w stosunku do obrazu nieprzetworzonego. Specyfika środowiska nie pozwalała na rejestrację ostrego obrazu, co wpłynęło znacząco na ilość znalezionych punktów. W środowisku o lepszej wizurze oraz przy zastosowaniu kamery o lepszej rozdzielczości uzyskano znacznie większą dokładność i stabilność lokalizacji oraz mapowania.