

Optymalizacja ścieżki dla ruchu robota z zadeklarowanymi strefami niebezpiecznymi

Kacper Krasiński

Hubert Koszela

1. Opis rzeczywistego problemu

1.1. Efekt

Struktura złożona z punktów pośrednich w osiach x, y, z omijających przeszkody.

1.2. Motywacja

Usprawnienie wytyczania ścieżki dla manipulatora, docelowo również fizyczne ogniwa robota nie powinny wchodzić w strefę niebezpieczną. Wejście: zaimplementowane w formie (8 wierzchołków - prostopadłości) punktów ograniczających strefy niebezpieczne dla robota. startowy i docelowy punkt robota (na początku ograniczenie do translacji).

1.3. Rozwiązanie

Problem może być rozwiązany zarówno siecią neuronową jak i algorytmem znajdowania ścieżki.

2. State of Art

2.1. Rapidly Exploring Random Tree (RRT) oraz jego warianty:

Wybiera losowo kierunek a następnie w odległości dt tworzy węzeł (ang. node) do którego przechodzi kiedy nie ma kolizji. Tak utworzone drzewo wybiera najszybszą ścieżkę (mało skuteczny, zależny od szczęścia, brak heurystyki, nieoptymalny)

2.1.1. RRT

March 'losowy' kierunek zamienia się w kierunek skierowany w stronę celu (nieoptymalny, bardzo skuteczny przy prostym otoczeniu) [1], [2]{Introduction}

2.1.2. RRT*

Porównuje czy miejsce z którego przyszedł jest najszybszą możliwą opcją przyjscia, jeśli nie to je zamienia, tworzy charakterystyczny kształt drzewa (wymagający obliczeniowo, dłuższy, najbardziej optymalna ścieżka) [1], [2]{Introduction}

2.1.3. Mapa Probabilistyczna PRM oraz jego usprawnienie FMT* i SH-FMT*

Algorytmy te składają się z dwóch faz - rozmieszczenia węzłów (ang. nodes) oraz przeszukiwania ścieżki. Węzły rozmieszczane są losowo, jednak podczas algorytmu FMT* są również klasyfikowane do trzech kategorii: unvisited, open lub closed [2]. Na podstawie okręgu o promieniu r_n w ramach którego można się przemieścić z aktualnego węzła. Metoda ta polega na stworzeniu mapy PRM w otoczeniu 2D które jest najmniej kłopotliwe do ominięcia, co oszczędza moc i złożoność obliczeniową. Korzysta również z wygładzania kątów- prowadzi do bardzo zadowalających wyników.

2.2. Algorytm artificial potential field APN

Często używane podejście do robotów mobilnych przy omijaniu obiektów i kolizji. Jest tak z powodu na prostotę implementacji i efektywnej analizie matematycznej. Opiera się ona na implementacji dwóch pól potencjałów - przyciągającego i odpychającego [3]. Przyciągające 'ciągnie' robota do pozycji docelowej a odpychające 'oddala' robota od punktu startowego z mniejszym współczynnikiem i od obiektów których chcemy ominąć z większym współczynnikiem - ostrzejszą powierzchnią [3]:

$$U_{Att}(x, y) = \frac{1}{2}K_a[(x - x_{FIN}^2 + (y - y_{FIN})^2]$$
$$U_{Rep_s}(x, y) = \frac{1}{2} \frac{K_r}{\sqrt{(x - x_{init})^2 + (y - y_{init})^2}}$$
$$U_{Rep_{oi}}(x, y) = \frac{1}{2} \frac{K_O}{\sqrt{(x - x_{Ob_i})^2 + (y - y_{Ob_i})^2}}$$

3. Opis wybranej metody

Wybraną przez nas koncepcją do usprawnienia wytyczania ścieżki omijania przeszkód dla manipulatora jest wykorzystanie algorytmu RRT. Algorytm RRT (Rapidly-exploring Random Trees) służy do przeszukiwania przestrzeni w celu znalezienia ścieżki między dwoma punktami. RRT rozpoczyna od losowego wyboru punktu w przestrzeni, dodając stopniowo punkty, które łączone są z punktami najmniej oddalonymi od punktu docelowego.

3.1. Dane

- Aktualna pozycja efektora
- Współrzędne 8 wierzchołków prostopadłościanu, wyznaczających strefę niebezpieczną
- punkt startowy
- punkt docelowy

3.2. Wyjście algorytmu

Wyjściem algorytmu będzie osiągnięcie przez robota wyznaczonej pozycji końcowej, po ominięciu strefy niebezpiecznej.

3.3. Procedura testowania

W procedurze testowania zostanie uwzględniony fakt, iż nowo powstałe punkty na płaszczyźnie nie mogą znajdować się w obszarze prostopadłościanów, opisujących strefę niebezpieczną. Istnieje również możliwość wykreślenia wykresów 3D obrazujących przestrzeń oraz wybraną ścieżkę. Widoczne są każde kroki działania algorytmu jak również każdy zaakceptowany przez ścieżkę punkt. Dodano również wizualizację ruchu robota po tych punktach

3.4. Identyfikacja ewentualnych problemów

Problemem może być odpowiedni krok z jakim będziemy wybierać kolejne punkty. Również w rzeczywistym zastosowaniu warto byłoby zwrócić uwagę nie tylko na punkt końcowy manipulatora a również na jego pozostałe ogniwa kinematyczne - złożoność obliczenia i sposób implementacji takiego algorytmu rośnie -> zachowanie ruchu wyłącznie w jednej płaszczyźnie pomiędzy jointami i równa odległość pomiędzy nimi. Jest to zagadnienie dużo obszerniejsze niż przewidujemy implementować.

4. Prezentacja działania algorytmu

Film z nagraniem prezentującym działanie algorytmu znajduje się pod tym linkiem

5. Możliwość rozszerzenia projektu

- Wdrożenie bardziej zaawansowanych algorytmów wyszukiwania najkrótszych ścieżek, takich jak SH-FMT*, RRT*, PRM, lub FMT*.
- Uniknięcie kolizji podczas generowania obiektów z przestrzeniami zajmującymi miejsce przez korpus robota.
- Dodanie algorytmu określającego w jaki sposób robot powinien się poruszać oraz jak powinien manipulować obiektami (pod jakim kątem trzymać przedmiot), aby spełnić określone wymagania operacyjne.
- Implementacja warunków generowania obiektów typu start, stop oraz obszarów ograniczonych, tak aby nie generowały się one w kolizji ze sobą. Istotne jest, aby te obiekty były rozmieszczane w sposób, który pozwala na ich bezkolizyjne osiągnięcie i wykorzystanie.
- Implementacja algorytmu wyszukiwania ścieżki dla każdego złącza robota tak, aby możliwym było osiągnięcie celu, unikając przy tym kolizji korpusu z obszarami ograniczonymi.

Bibliography

- [1] J. Bernatchez, "Motion Planning Algorithms (RRT, RRT*, PRM) - [MIT 6.881 Final Project]". [Online]. Available: https://youtu.be/gP6MRe_IHFo?si=77-sIzLuZisIjc1B
- [2] Y.-H. Yu and Y.-T. Zhang, "Collision avoidance and path planning for industrial manipulator using slice-based heuristic fast marching tree", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 75, p. 102289, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102289>.
- [3] Y. Hargas, A. Mokrane, A. Hentout, O. Hachour, and B. Bouzouia, "Mobile manipulator path planning based on artificial potential field: Application on RobuTER/ULM", in *2015 4th International Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, 2015, pp. 1–6. doi: [10.1109/INTEE.2015.7416774](https://doi.org/10.1109/INTEE.2015.7416774).