

Planowanie ruchu bryły sztywnej

Przemysław Dobrowolski

Politechnika Warszawska
Wydział Matematyki i Nauk Informacyjnych



Warszawa, 6 czerwiec 2013

Z planowanie ruchu bryły sztywnej korzysta się przede wszystkim w zagadnieniach związanych z robotami:

- produkcja elementów mechanicznych
- oprogramowanie do autonomicznych robotów

Z planowanie ruchu bryły sztywnej korzysta się przede wszystkim w zagadnieniach związanych z robotami:

- produkcja elementów mechanicznych
- oprogramowanie do autonomicznych robotów

Zagadanie to pojawia się także w innych dziedzinach:

- montaż elementów
- wirtualne prototypowanie
- sterowanie wirtualnymi aktorami
- analiza łączenia się cząsteczek organicznych

Zadanie przenoszenia pianina

Zadanie przenoszenia pianina

Zadanie przenoszenia pianina

Jak najlepiej przenieść (i czy w ogóle to możliwe?) pianino w krętej klatce schodowej z najniższego piętra na najwyższe?



Zadanie przenoszenia pianina

Zadanie przenoszenia pianina

Jak najlepiej przenieść (i czy w ogóle to możliwe?) pianino w krętej klatce schodowej z najniższego piętra na najwyższe?



Trudności: wiele możliwych kierunków ruchu, łatwość zakleszczenia ruchu.

Zadanie przenoszenia pianina

Zadanie przenoszenia pianina

Jak najlepiej przenieść (i czy w ogóle to możliwe?) pianino w krętej klatce schodowej z najniższego piętra na najwyższe?



Trudności: wiele możliwych kierunków ruchu, łatwość zakleszczenia ruchu.

Dużym uproszeniem jest np. problem poruszania odcinka na płaszczyźnie.

Planowanie ruchu bryły sztywnej

Dana jest scena składająca się z:

- 1 wyróżnionej ruchomej bryły sztywnej z ustalonym środkiem obrotu
- 2 zbioru nieruchomych przeszkód

Dana jest scena składająca się z:

- 1 wyróżnionej ruchomej bryły sztywnej z ustalonym środkiem obrotu
- 2 zbioru nieruchomych przeszkód

Definicja (Położenie bryły sztywnej)

*Dowolne ustawienie bryły sztywnej z ustalonym przesunięciem i obrotem nazywamy **położeniem** bryły sztywnej.*

Planowanie ruchu bryły sztywnej

Definicja (Zadanie planowania ruchu)

Niech dana będzie scena. Przy ustalonej parze położeń początkowego i końcowego, zadaniem planowania ruchu nazywamy problem znalezienia ciągłej ścieżki położeń od początkowego do końcowego wzdłuż której poruszająca się bryła sztywna nie koliduje z żadną z przeszkód w scenie. Uwaga: ścieżka może nie istnieć.

Podział problemów

Istnieje duża różnorodność problemów, można je dzielić ze względu na:

Istnieje duża różnorodność problemów, można je dzielić ze względu na:

- przestrzeń w której odbywa się ruch: 2 wymiary, 3 wymiary lub więcej

Istnieje duża różnorodność problemów, można je dzielić ze względu na:

- przestrzeń w której odbywa się ruch: 2 wymiary, 3 wymiary lub więcej
- ograniczenia ruchu: z obrotami, bez obrotów

Istnieje duża różnorodność problemów, można je dzielić ze względu na:

- przestrzeń w której odbywa się ruch: 2 wymiary, 3 wymiary lub więcej
- ograniczenia ruchu: z obrotami, bez obrotów
- rodzaj sceny: wielościanowa, kulista, stopień powierzchni definiujących

Istnieje duża różnorodność problemów, można je dzielić ze względu na:

- przestrzeń w której odbywa się ruch: 2 wymiary, 3 wymiary lub więcej
- ograniczenia ruchu: z obrotami, bez obrotów
- rodzaj sceny: wielościanowa, kulista, stopień powierzchni definiujących
- metoda zapytań o ścieżkę: jednokrotne, wielokrotne

Istnieje duża różnorodność problemów, można je dzielić ze względu na:

- przestrzeń w której odbywa się ruch: 2 wymiary, 3 wymiary lub więcej
- ograniczenia ruchu: z obrotami, bez obrotów
- rodzaj sceny: wielościanowa, kulista, stopień powierzchni definiujących
- metoda zapytań o ścieżkę: jednokrotne, wielokrotne
- widoczność sceny: znana na początku, odkrywana wraz z ruchem

Równie duża jest liczba stosowanych metod rozwiązania:

Równie duża jest liczba stosowanych metod rozwiązania:

- algorytmy zupełne (dokładne) i heurystyczne (przybliżone)

Równie duża jest liczba stosowanych metod rozwiązania:

- algorytmy zupełne (dokładne) i heurystyczne (przybliżone)
- metody komórkowe z przestrzenią konfiguracji: ACD, rozkład pionowy, rozkład cylindryczny, triangulacja

Równie duża jest liczba stosowanych metod rozwiązania:

- algorytmy zupełne (dokładne) i heurystyczne (przybliżone)
- metody komórkowe z przestrzenią konfiguracji: ACD, rozkład pionowy, rozkład cylindryczny, triangulacja
- metody rozkładające brzeg przestrzeni konfiguracji na powierzchnie prostokątne

Równie duża jest liczba stosowanych metod rozwiązywania:

- algorytmy zupełne (dokładne) i heurystyczne (przybliżone)
- metody komórkowe z przestrzenią konfiguracji: ACD, rozkład pionowy, rozkład cylindryczny, triangulacja
- metody rozkładające brzeg przestrzeni konfiguracji na powierzchnie prostokątne
- metody mapy drogowej: graf widoczności, metoda krzywych sylwetkowych, metody retrakcyjne

Równie duża jest liczba stosowanych metod rozwiązywania:

- algorytmy zupełne (dokładne) i heurystyczne (przybliżone)
- metody komórkowe z przestrzenią konfiguracji: ACD, rozkład pionowy, rozkład cylindryczny, triangulacja
- metody rozkładające brzeg przestrzeni konfiguracji na powierzchnie prostokątne
- metody mapy drogowej: graf widoczności, metoda krzywych sylwetkowych, metody retrakcyjne
- metody bazujące na próbkowaniu: PRM, RRT, pola potencjału

Równie duża jest liczba stosowanych metod rozwiązywania:

- algorytmy zupełne (dokładne) i heurystyczne (przybliżone)
- metody komórkowe z przestrzenią konfiguracji: ACD, rozkład pionowy, rozkład cylindryczny, triangulacja
- metody rozkładające brzeg przestrzeni konfiguracji na powierzchnie prostokątne
- metody mapy drogowej: graf widoczności, metoda krzywych sylwetkowych, metody retrakcyjne
- metody bazujące na próbkowaniu: PRM, RRT, pola potencjału
- metody hybrydowe

Motywacja

Przegląd algorytmów planowania ruchu z szczególnym uwzględnieniem istniejących podejść do kwestii obrotów w ruchu pozwala dostrzec, że:

Motywacja

Przegląd algorytmów planowania ruchu z szczególnym uwzględnieniem istniejących podejść do kwestii obrotów w ruchu pozwala dostrzec, że:

- ruch obrotowy jest dużo bardziej problematyczny niż translacyjny

Motywacja

Przegląd algorytmów planowania ruchu z szczególnym uwzględnieniem istniejących podejść do kwestii obrotów w ruchu pozwala dostrzec, że:

- ruch obrotowy jest dużo bardziej problematyczny niż translacyjny
- aby uwzględnić obroty często stosuje się sztuczki, np. dyskretyzacja przestrzeni obrotów (ang. slicing)

Motywacja

Przegląd algorytmów planowania ruchu z szczególnym uwzględnieniem istniejących podejść do kwestii obrotów w ruchu pozwala dostrzec, że:

- ruch obrotowy jest dużo bardziej problematyczny niż translacyjny
- aby uwzględnić obroty często stosuje się sztuczki, np. dyskretyzacja przestrzeni obrotów (ang. slicing)
- niezbadany jest dokładny kształt przestrzeni konfiguracji zawierającej element obrotowy

Motywacja

Przegląd algorytmów planowania ruchu z szczególnym uwzględnieniem istniejących podejść do kwestii obrotów w ruchu pozwala dostrzec, że:

- ruch obrotowy jest dużo bardziej problematyczny niż translacyjny
- aby uwzględnić obroty często stosuje się sztuczki, np. dyskretyzacja przestrzeni obrotów (ang. slicing)
- niezbadany jest dokładny kształt przestrzeni konfiguracji zawierającej element obrotowy
- nieznane są algorytmy hybrydowe łączące dokładną część obrotową z przybliżoną częścią translacyjną

W rozprawie zaproponowano i zbadano zachowanie trzech nowych algorytmów planowania ruchu:

W rozprawie zaproponowano i zbadano zachowanie trzech nowych algorytmów planowania ruchu:

- ruch jest wyłącznie obrotowy, tj. w przestrzeni $SO(3)$

W rozprawie zaproponowano i zbadano zachowanie trzech nowych algorytmów planowania ruchu:

- ruch jest wyłącznie obrotowy, tj. w przestrzeni $SO(3)$
- obracaną bryłą sztywną i przeszkodami mogą być dowolne wielościany lub zbiory kul

W rozprawie zaproponowano i zbadano zachowanie trzech nowych algorytmów planowania ruchu:

- ruch jest wyłącznie obrotowy, tj. w przestrzeni $SO(3)$
- obracaną bryłą sztywną i przeszkodami mogą być dowolne wielościany lub zbiory kul
- rozwiązania należą do klasy algorytmów stosujących przestrzeń konfiguracji

W rozprawie zaproponowano i zbadano zachowanie trzech nowych algorytmów planowania ruchu:

- ruch jest wyłącznie obrotowy, tj. w przestrzeni $SO(3)$
- obracaną bryłą sztywną i przeszkodami mogą być dowolne wielościany lub zbiory kul
- rozwiązania należą do klasy algorytmów stosujących przestrzeń konfiguracji
- w przestrzeni konfiguracji tworzony jest graf komórek

Przestrzeń konfiguracji

Problem planowania ruchu bryły wygodnie jest rozpatrywać w terminach przestrzeni konfiguracji.

Przestrzeń konfiguracji

Problem planowania ruchu bryły wygodnie jest rozpatrywać w terminach przestrzeni konfiguracji.

Konfiguracja (ustawienie) bryły

Dowolny matematyczny opis wskazujący położenie i/lub obrót bryły względem ustalonego układu współrzędnych.

Przestrzeń konfiguracji

Problem planowania ruchu bryły wygodnie jest rozpatrywać w terminach przestrzeni konfiguracji.

Konfiguracja (ustawienie) bryły

Dowolny matematyczny opis wskazujący położenie i/lub obrót bryły względem ustalonego układu współrzędnych.

Przestrzeń konfiguracji

Zbiór wszystkich konfiguracji bryły sztywnej.

Przestrzeń konfiguracji

Problem planowania ruchu bryły wygodnie jest rozpatrywać w terminach przestrzeni konfiguracji.

Konfiguracja (ustawienie) bryły

Dowolny matematyczny opis wskazujący położenie i/lub obrót bryły względem ustalonego układu współrzędnych.

Przestrzeń konfiguracji

Zbiór wszystkich konfiguracji bryły sztywnej.

Przykłady przestrzeni konfiguracji:

- $\mathbb{R}^3 \times \text{SO}(3)$ - ruch wielościanu z obrotami w \mathbb{R}^3
- $\mathbb{R}^2 \times \text{SO}(2)$ - ruch wielokąta z obrotami w \mathbb{R}^2

Punkty w przestrzeni konfiguracji:

Punkty w przestrzeni konfiguracji:

Przestrzeń wolna (pusta)

Podzbiór przestrzeni konfiguracji, którego konfiguracje nie powodują kolizji poruszającej się bryły sztywnej z przeszkodami na scenie.

Przestrzeń konfiguracji

Punkty w przestrzeni konfiguracji:

Przestrzeń wolna (pusta)

Podzbiór przestrzeni konfiguracji, którego konfiguracje nie powodują kolizji poruszającej się bryły sztywnej z przeszkodami na scenie.

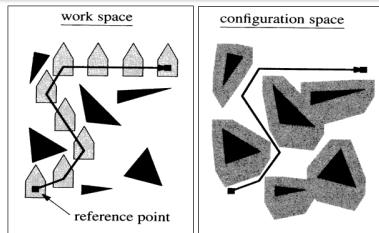
Przestrzeń zajęta (zabroniona)

Podzbiór przestrzeni konfiguracji, którego konfiguracje powodują kolizję poruszającej się bryły sztywnej z dowolną przeszkodą na scenie.

Przestrzeń konfiguracji a planowanie ruchu

Planowanie ruchu z użyciem przestrzeni konfiguracji

Problem planowania ruchu bryły sztywnej na scenie jest równoważny problemowi szukania jednowymiarowej ścieżki w przestrzeni konfiguracji.

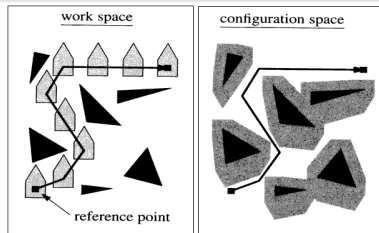


źródło: http://www-scf.usc.edu/~peiyingc/gra_planning.html

Przestrzeń konfiguracji a planowanie ruchu

Planowanie ruchu z użyciem przestrzeni konfiguracji

Problem planowania ruchu bryły sztywnej na scenie jest równoważny problemowi szukania jednowymiarowej ścieżki w przestrzeni konfiguracji.



źródło: http://www-scf.usc.edu/~peiyingc/gra_planning.html

Obserwacja: wystarczy raz stworzyć przestrzeń konfiguracji (duży koszt obliczeniowy) a następnie można wykonywać wielokrotne zapytania (niski koszt obliczeniowy).

Komórki w przestrzeni konfiguracji

Ograniczenia ruchu wynikające z kształtu bryły sztywnej i przeszkód powodują podział przestrzeni konfiguracji (wolnej i zajętej) na **komórki**. W każdej komórce wszystkie konfiguracje są albo dozwolone kolizyjnie albo bezkolizyjne.

Komórki w przestrzeni konfiguracji

Ograniczenia ruchu wynikające z kształtu bryły sztywnej i przeszkód powodują podział przestrzeni konfiguracji (wolnej i zajętej) na **komórki**. W każdej komórce wszystkie konfiguracje są albo dozwolone kolizyjnie albo bezkolizyjne.

Graf komórkowy

Graf sąsiedztwa między komórkami w przestrzeni konfiguracji nazywany jest **grafem komórkowym**.

Zaproponowano trzy różne algorytmy tworzenia przestrzeni konfiguracji wraz z grafem komórkowym umożliwiającym planowanie ruchu.

- 1 algorytm dokładny - wyznaczający kompletną geometrię przestrzeni konfiguracji
- 2 algorytm komórkowy - szybki heurystyczny algorytm
- 3 algorytm rastrowy - algorytm do specjalnych zastosowań

Algorytm dokładny polega na obliczeniu kompletnego grafu komórkowego w przestrzeni konfiguracji.

Cechy:

- algorytm rozwiązuje każdy problem i obsługuje sytuację **braku ścieżki**
- budowa kompletnej przestrzeni konfiguracji dla większych scen trwa bardzo długo
- odkryte zostają wszystkie komórki i połączenia między nimi

W algorytmie komórkowym nacisk kładziony jest na obliczenie wyłącznie dobrze przybliżającego zbioru komórek

Cechy:

- algorytm może nie znaleźć ścieżki nawet gdy taka istnieje
- algorytm nie jest w stanie stwierdzić braku ścieżki
- działanie algorytmu jest szybkie dla typowych scen
- mogą istnieć nieodkryte komórki

Algorytm rastrowy dobrze nadaje się do mierzenia objętości przestrzeni wolnej - stopień zakleszczenia sceny

Cechy:

- algorytm szczególnie przydatny do wizualizacji
- może również zostać użyty do pomiaru objętości podprzestrzeni wolnej
- przy wybranej niewielkiej dokładności algorytm jest dość szybki

Zbadano następujące użycia nowych metod:

- planowanie ruchu obrotowego bryły w obecności przeszkód - manewrowanie efektem robota
- dokowanie efektora - ruch obrotowy obiektu wzdłuż zadanej ścieżki liniowej

Zbadano następujące użycia nowych metod:





- planowanie ruchu obrotowego bryły w obecności przeszkód - manewrowanie efektem robota
- dokowanie efektora - ruch obrotowy obiektu wzdłuż zadanej ścieżki liniowej

Ponadto, możliwe jest użycie zaproponowanych metod do:

- jako planer lokalny w algorytmach typu PRM
- jako składnik algorytmów hybrydowych

Zaproponowane trzy algorytmy mogą być dalej rozwijane:

- zastosowanie obliczeń równoległych i rozproszonych
- wyznaczenie pełnego kształtu każdej komórki w grafie
- dodanie innych typów geometrii do opisu sceny

-  John F. Canny, *The complexity of robot motion planning*, Ph.D. thesis, MIT Press, 1988.
-  H. Choset, K. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. Kavraki, and S. Thrun, *Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms and Implementation*, MIT Press, 2005.
-  Jean-Claude Latombe, *Robot motion planning*, Kluwer Academic Publishers, 1991.
-  S.M. LaValle, *Planning algorithms*, Cambridge Univ Pr, 2006.