

METODA UNIKANIA PRZESZKÓD W SYSTEMIE AUTOMATYCZNEGO PROGRAMOWANIA ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH

Przedstawiono metodę analizy przestrzeni roboczej robota manipulacyjnego opartą na jej sparametryzowanym podziale. Zaproponowana metoda pozwala na wyznaczenie bezkolizyjnej trajektorii robota w systemie wag bazujących na stochastycznych procesach decyzyjnych Markowa.

THE OBSTACLES COLLISION AVOIDANCE METHOD IN COMPUTER AIDED ROBOT PROGRAMMING SYSTEM

The method of working space of the industrial manipulation robot basing on parameterized division is presented in the paper. Proposed method allow for determination of the collision-free robot trajectory according to stochastic Marcov's decision making processes.

1. Wstęp

Proces programowania manipulacyjnych robotów przemysłowych realizowany w zrobotyzowanym systemie technologicznym jest trudny i złożony. Do najważniejszych niedogodności z nim związanych należy konieczność bezpośredniego wykorzystania do tego celu samego robota, co pociąga za sobą postój całego zrobotyzowanego systemu technologicznego. Czas ten, z punktu widzenia wydajności pracy tego systemu, jest czasem bezproduktywnym. Z tego powodu czyni się starania, by w ramach systemów komputerowego wspomaganie przygotowania produkcji opracować system programowania off-line robotów przemysłowych. Istniejące systemy tego rodzaju są przede wszystkim systemami dedykowanymi (dla konkretnych maszyn i procesów produkcyjnych, np. RobSim f-my Siemens dla robotów Sirotec) i graficznymi, w których ocena wizualna prowadzonego procesu jest jedyną, skuteczną i dostatecznie szybką, gwarantującą poprawność uzyskiwanych rozwiązań. Dlatego też, mimo wielu trudności, prowadzi się prace nad systemami programowania off-line robotów, a w ich ramach nad rozwiązaniem problemu planowania działań robota, który jest jednym z najtrudniejszych etapów procesu komputerowo wspomaganego programowania off-line robotów przemysłowych. Proces ten składa się z dwóch zadań planowania: akcji i trajektorii robota. Oba te zadania są logicznie złożone co wynika z bieżących uwarunkowań technologicznych. Zadania te nie poddają się procesom algorytmizacji, gdyż bezpośredni wpływ na nie ma wiele niejednorodnych czynników, z których najważniejsze to: logika procesu technologicznego, problem opisu geometrycznego otoczenia robota (tzw. sceny robota), harmonogramowanie zadań obsługi (uwarunkowania czasowe), analiza informacji dotyczącej zarówno sposobu

definiowania zadania (język programowania, bazy danych i wiedzy, sygnały sensorowe z otoczenia) itp. oraz przełożenia uzyskanych w ten sposób informacji na proste instrukcje programowe robota. Z tych też powodów, zarówno zadania planowania akcji (związane przede wszystkim z analizą informacji dotyczących sekwencji czynności robota i logiki jego działania), jak i planowania trajektorii rozwiązywane są niezależnie. Istniejące metody wiążą jednak cały proces planowania nie tylko z zadaniem znalezienia kolejnej pozycji w przestrzeni (tzw. referencyjnej) do której robot powinien zrealizować swój ruch, by był to ruch bezkolizyjny, ale również z zadaniem sterowania tym ruchem, czyli z kinematyką i dynamiką robota. Wynika to z założonych kryteriów optymalizacji jakimi najczęściej są kryteria minimum czasu i energii [1,2,4]. W przedstawionej metodzie proponuje się uprościć proces planowania do spełnienia podstawowego warunku jakim jest uniknięcie kolizji w złożonym geometrycznie otoczeniu robota, co może stanowić przyczynek do rozwiązania zadania planowania trajektorii wg kryterium unikania przeszkód.

2. Założenia

Proponowana metoda wykorzystuje do analizy przestrzeni ergodyczne, stochastyczne procesy decyzyjne Markowa. Metoda ta oparta no zasadzie maszynowego uczenia się bez nauczyciela, tzw. algorytm Q-learning [1] i wykorzystuje do oceny poprawności uzyskiwanych rozwiązań podstawowy mechanizm uczenia się ze wzmocnieniem polegający na nagradzaniu zachowań przyjętych jako poprawne. Dlatego też mechanizm planowania trajektorii oparty na odpowiednim systemie nagradzania typowanych przez planer trajektorii systemu programowania off-line robota rozwiązań. Ponieważ procesy decyzyjne Markowa wykorzystują uśrednioną wartość oceny zachowań określoną zależnością [1,7]:

$$\gamma = E \left[\sum_{i=0}^{n-1} \omega_{P_{wi}} \cdot r(P_{wi}) \right]$$

gdzie: $\omega_{P_{wi}}$ – waga określająca ważność uzyskanej oceny (parametr o wartości wymiernej z przedziału [0,1]) po osiągnięciu kolejnego zadanego (wybranego stochastycznie) punktu wspomagającego P_{wi} trajektorii, a $r(P_{wi})$ – uśredniona przyjęta wartość oceny zachowania poprawnego wyrażona jako wartość prawdopodobieństwa osiągnięcia celu w położeniu P_{wi} . Dlatego też pierwszoplanowym zadaniem jest ustalenie sposobu nagradzania planowanych zachowań planera trajektorii. Przyjęto zatem, że zróżnicowanie uzyskiwanych ocen wynikać będzie ze zmiany wartości wag $\omega_{P_{wi}}$ a uśredniona wartość $r(P_{wi})$ pozostaje niezmienną. Dlatego przyjmijmy następujące założenia:

- zakres analizy ograniczymy do przestrzeni 3D, zdefiniowanej w zewnętrznym kartezjańskim układzie współrzędnych zadania robota; oznacza to, że pomijane są w analizie współrzędne orientacji końcówki robota;
- każda pozycja referencyjna (docelowa trajektorii robota) powinna być wyznaczona w taki sposób, by zapewnić swobodną zmianę orientacji przedmiotu manipulowanego,
- potencjalne przeszkody robota, czyli urządzenia technologiczne, systemu zrobotyzowanego (obrabiarki, magazyny, stanowiska reorientacji itp.) są statyczne, a zmiany układu geometrycznego otoczenia dokonują się w taki sposób, że w

czasie wyznaczania kolejnego ruchu robota żaden z obiektów tego otoczenia nie zmienia swojego położenia,

- analiza przestrzeni dokonywana jest ze względu na tzw. punkt charakterystyczny związany z ostatnim elementem ostatniego ogniwa łańcucha kinematycznego robota, przyjmując, że jeżeli wyznaczona pozycja referencyjna znajduje się w obszarze przestrzeni roboczej (główniej lub pomocniczej robota) to jest ona możliwa do osiągnięcia,
- analizą nie są objęte zagadnienia samokolizyjności ogniw łańcucha kinematycznego robota.

3. Analiza przestrzeni roboczej robota

3.1. Przeszkody

Jednym z głównych problemów zadania planowania trajektorii jest określenie sposobu opisu środowiska robota. Potencjalnymi przeszkodami poruszającego się robota w przestrzeni są wszystkie obiekty z którymi on współpracuje. Załóżmy, dla uproszczenia, że obiekty te będą definiowane jako prostopadłości, których parametry geometryczne wyznaczone są poprzez skończony zbiór wierzchołków określających długości poszczególnych boków rozpiętych pomiędzy parami sąsiadujących ze sobą wierzchołków [6]. Potencjalne przeszkody są zdefiniowane w przestrzeni zadania robota poprzez długość każdego boku danej przeszkody określonej wzdłuż każdej z osi układu współrzędnych zadania. Długość boku określimy jako różnicę wartości współrzędnych dwóch sąsiednich wierzchołków leżących na jednej krawędzi określającej bok danego obiektu, co możemy zapisać jako:

$$l_x^j = x_{i+1}^j - x_i^j$$

podobnie dla każdej z pozostałych krawędzi leżących wzdłuż każdej z osi przyjętego układu współrzędnych. Wtedy, przeszkodę możemy zdefiniować jako:

$$OB^j = \begin{cases} \sum_i OB_{x_i}^j = x_i^j + l_{x_i}^j \\ \sum_i OB_{y_i}^j = y_i^j + l_{y_i}^j & \text{dla } j=1,2,\dots,n \quad i=1,\dots,k \\ \sum_i OB_{z_i}^j = z_i^j + l_{z_i}^j \end{cases}$$

gdzie: $l_{x,y,z}^j$ - odległość pomiędzy dwoma sąsiednimi wierzchołkami odpowiedniego boku przeszkody j określona wzdłuż każdej z osi układu współrzędnych zadania, x_i^j, x_{i+1}^j - współrzędne kolejnych, sąsiednich wierzchołków wyznaczających dany bok przeszkody j , i - bok przeszkody w danym kierunku.

3.2. Przestrzeń bezkolizyjna

Przestrzeń w której możliwe jest zdefiniowanie i zrealizowanie trajektorii musi być obszarem wolnym od obiektów mogących stanowić przeszkody dla robota. Zatem, jeżeli przestrzeń zajmowana przez zrobotyzowany system technologiczny będzie

przestrzeń Π_{sc} , a przestrzeń zajmowana przez przeszkody robota (obiekty technologiczne) oznaczmy jako Π_{OB} wtedy:

$$\Pi_w = \Pi_{sc} - \sum_j \Pi_{OB^j}$$

Przestrzeń Π_{OB} nazywać będziemy przestrzenią kolizyjności robota, a przestrzeń Π_w przestrzenią bezkolizyjną, zaś trajektorię robota możliwą do zrealizowania w przestrzeni bezkolizyjnej nazwiemy trajektorią bezkolizyjną. Przestrzeń Π_{OB} wyznaczają przestrzenie zajmowane przez wszystkie obiekty sceny, więc:

$$\Pi_{OB} = \Pi_{OB^1} + \Pi_{OB^2} + \dots + \Pi_{OB^n} = \sum_{j=1}^n \Pi_{OB^j}$$

gdzie: Π_{OB^j} – przestrzenie zajmowane przez poszczególne obiekty sceny, które mogą stanowić przeszkodę w swobodnym ruchu robota. Jeżeli przyjmiemy, że trajektoria robota Γ jest skończonym zbiorem kolejnych „kroków” t_i rozpiętych pomiędzy kolejnymi wyznaczonymi pozycjami referencyjnymi P_{wi} , których liczba i położenie przestrzenne wynika z konieczności omijania przeszkód, lub konieczności zmiany parametrów kinematycznych ruchu robota czyli jeżeli:

$$\Gamma = \min_i \sum_{i=1}^m t_i$$

wtedy warunek zrealizowania trajektorii bezkolizyjnej zachodzi, gdy:

$$\Gamma \cap \Pi_{OB} = \forall_j \forall_i \left(\sum_{i=1}^m t_i \cap \Pi_{OB^j} \right) = 0$$

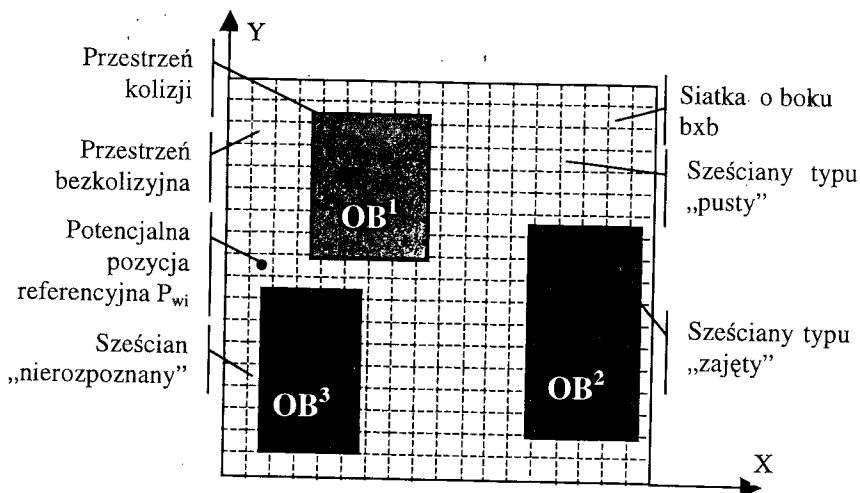
3.3. Analiza przestrzeni

Omawiana metoda zakłada, że analiza przestrzeni robota przeprowadzona jest w oparciu o jej sparametryzowany podział na skwantowane obszary tworzące siatkę sześciątów, których środek geometryczny wyznacza kolejną pozycję referencyjną P_{wi} planowanej trajektorii [3,7]. Nałożmy zatem na obszar przykładowej sceny robota siatkę sześciątów o boku b , której rzut na płaszczyznę X-Y układu współrzędnych zadania pokazano na rys. 1.

Jak łatwo zauważyć, dokonany podział powoduje, że wyznaczone sześciąty można podzielić na trzy rodzaje:

- puste, czyli takie które bezpośrednio można zakwalifikować jako fragmenty przestrzeni bezkolizyjnej Π_w ,
- zajęte, czyli takie, które należą do przestrzeni kolizyjności robota Π_{OB} ,
- nierozpoznane, czyli takie które znajdują się częściowo w obszarze przestrzeni kolizyjności i przestrzeni bezkolizyjnej.

Dwa pierwsze rodzaje obszarów (otwarte i zamknięte) są jednoznacznie określone i nie wymagają dalszej analizy. Problemem jednak pozostają obszary zajęte częściowo. Podstawowym problemem przy stosowaniu techniki kwantowania przestrzeni jest problem wielkości obszarów na jakie należy podzielić tą przestrzeń, by z jednej strony uprościć jej analizę, a z drugiej zaś uzyskać odpowiednią dokładność tej analizy. Intuicyjnie wydaje się, że wielkość boku b powinna być związana zarówno z wielkością przedmiotu manipulowanego przez robota, jak i swobodą jego ruchu, czyli wielkością



Rys. 1. Przykładowa przestrzeń sceny robota podzielona na sparametryzowane sześciany o boku b

dostępnej przestrzeni bezkolizyjnej. Dlatego też proponuje się rozpatrzenie dwóch przypadków:

a) przyjmijmy, że gradacja siatki, czyli długość boku b odpowiada polu opisanemu na okręgu wyznaczonemu przez obrót przedmiotu manipulowanego wokół jego punktu charakterystycznego rys. 2 [2]. Przykładowo, jeżeli wielkość 'przedmiotu manipulowanego określona jest wymiarami $L \times d_s$, gdzie L – jego długość, a d – średnica, to wielkość boku pola elementarnego siatki wynosi:

$$b = \sqrt{L^2 + d_s^2}$$

Dla pierwszego podziału, czyli dla siatki o boku równym b^0 siatkę taką nazwiemy podstawową (o polu podstawowym). Wartość b będziemy nazywać gradientem poszukiwań trajektorii.

b) spróbujmy również związać konfigurację siatki z „zapełnieniem” przestrzeni roboczej robota, gdyż w sytuacji, gdy przestrzeń dostępna-bezkolizyjna jest duża w stosunku do całej przestrzeni systemu zrobotyzowanego, automatycznie może to prowadzić do większej swobody poruszania się robota i odwrotnie, bardziej zagęszczona

przestrzeń, to mniejsza przestrzeń bezkolizyjna i szansa na sukcesie mniejsza - zatem b mniejsze. Warunek ten możemy zdefiniować jako:

$$b^0 = b^0 \cdot C_k$$

gdzie: C_k – jest prawdopodobieństwem wystąpienia przestrzeni wolnej od przeszkód, określonym jako:

$$C_k = \frac{\Pi_w}{\Pi_{sc}} = \frac{\Pi_{sc} - \sum_j \Pi_{OB^j}}{\Pi_{sc}}$$

Działanie takie jest uzasadnione tym, że dzięki potraktowaniu wartości C_k jako „wartości korekcyjnej” parametru b mamy możliwość związania wielkości boku pola siatki jednocześnie z wielkością przestrzeni Π_w i wielkością przedmiotu, a to oznacza, że im mniejszą częścią przestrzeni Π_{sc} jest przestrzeń Π_w to wielkość b ulega automatycznemu zmniejszeniu.

Przyjmijmy dodatkowo, że dla obszarów nierozpoznanych, wielkość boku siatki b może ulegać zmianie drogą kolejnych połówkowych podziałów wartości b^0 siatki podstawowej, stosownie do pożądanej szczegółowości prowadzonych analiz (dokładności ruchu robota), co uogólniając daje nam dla n -tego podziału wartość b^n równą:

$$b^n = \frac{b^0}{2^{n-1}} \frac{\sqrt{L^2 + d^2}}{2^{n-1}}$$

Wykorzystując właściwości stochastycznych procesów decyzyjnych Markowa polegających na tym, że jedynie stan obecny decyduje o dalszym postępowaniu, a stan przeszły nie wnosi żadnych skutków do dalszego działania, możemy założyć, że dalsze podziały dokonywane są wyłącznie dla tych obszarów elementarnych które określone zostały jako nierozpoznane. Spełnienie takiego warunku pozwala znacznie skrócić czas poszukiwania kolejnego rozwiązania dopuszczalnego, gdyż ogranicza dalsze analizy tylko do tych miejsc które tego bezpośrednio wymagają.

3.4. Potencjał pola

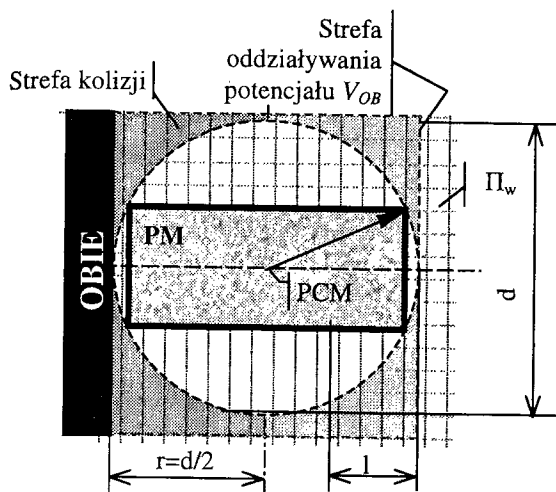
Ze względu na możliwą kolizję zwiążmy z każdym obiektem OB^j sceny robota pewną strefę „negatywnego” oddziaływania zwaną potencjałem V_{OB} , która ze względu na bezpośrednie sąsiedztwo robota i obiektu, a co za tym idzie możliwości wystąpienia kolizji, wymusza warunek „odpychania” robota od obiektu. Oddziaływanie to może wpływać na wybór bardziej „atrakcyjnego” miejsca, poprzez obniżenie „atrakcyjności” pola mogącego zostać wytypowanym do zrealizowania kolejnego kroku t_i . Potencjał powoduje obniżenie atrakcyjności obszaru poprzez zmianę wagi ω i zmniejsza ją proporcjonalnie do zbliżania się robota do obiektu OB^j . Ustalmy, że potencjał V_{OB} jakim oddziałuje każdy obiekt OB^j sceny robota na jego przestrzeń bezkolizyjną Π_w w jego bezpośrednim sąsiedztwie wynosi (rys. 3):

$$C_1 = \begin{cases} \omega - \frac{\omega}{l} & \text{dla } l \in \left(0, \frac{d}{2}\right) \\ \omega & \text{dla } l = 0 \end{cases}$$

gdzie: d – średnica okręgu opisanego na przedmiocie manipulowanym przez robota, l – rzeczywista odległość robota (programowanego punktu charakterystycznego robota) od przeszkody, ω – ustalona waga oceny jaką uzyskać można planer wybierając obszar pusty (np. 1).

W celu możliwości swobodnego kształtowania strefy oddziaływania potencjału, np. różnego dla różnych obiektów sceny proponuje się wprowadzić do ww. zależności pewien dodatkowy parametr, tzw. współczynnik korekcyjny potencjału C_2 . Wtedy wartość ω w obszarze oddziaływania potencjału przybierze postać:

$$\omega_{VP} = C_1 \cdot C_2$$



Rys. 3. Wyznaczanie potencjału V_{OB} .
 PM – przedmiot manipulowany, PCM - punkt charakterystyczny manipulacji.

C_2 przybiera wartości z przedziału $[0,1]$. Ze względu na rzeczywiste warunki jakie mogą zachodzić w czasie pracy robota w przestrzeni roboczej rozpatrzmy trzy przypadki charakterystyczne związane z oddziaływaniem potencjału.

Przypadek 1

Przypadek ten zachodzi gdy spełniony jest warunek (rys. 4) $L \gg d$. Wtedy reakcja na sąsiedztwo kilku obiektów sceny-przeszkód nie implikuje innych warunków niż typowe, zachodzące w modelowanym otoczeniu robota. Zatem obowiązują wszystkie poczynione do tej pory ustalenia, a system wag nie ulega zmianie.

Przypadek 2

Zachodzi, gdy spełniony jest warunek, że $d > b^n > L$. Wtedy, co jest równoznaczne z tym, że nie ma możliwości przeprowadzenia robota w przestrzeni powstałej pomiędzy blisko sąsiadującymi ze sobą obiektami OB^i .

Przypadek 3

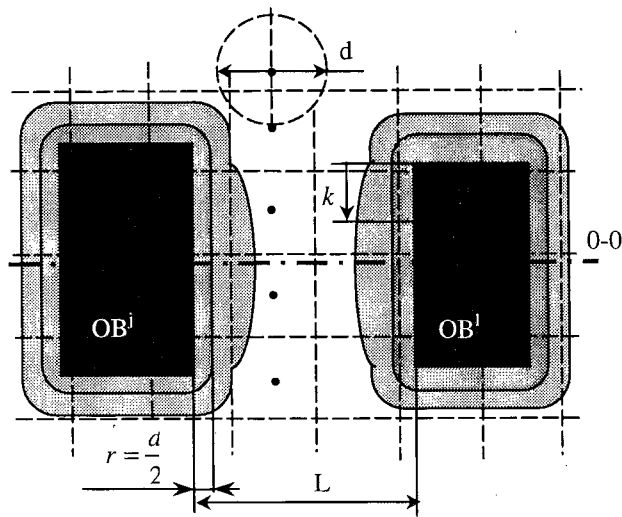
Przypadek ten zachodzi wtedy, gdy odległość pomiędzy obiektami jest „niewiele” większa niż wartość d , co oznacza, że robot musi przemieszczać się pomiędzy obiektami sceny wyjątkowo ostrożnie gdyż ów ruch odbywa się w bezpośredniej ich bliskości. Przyjmijmy, że określeniem bezpośrednia bliskość robota i obiektu sceny zachodzi wtedy, kiedy nie jest możliwe wybranie dla kolejnego t_i pola sąsiadującego obok, a możliwy jest tylko ruch do przodu lub do tyłu. Warunek ten możemy określić zależnością (rys. 4):

$$d + 2 \cdot \frac{d}{2} < L \leq d + 2 \cdot \frac{d}{2} + b^n$$

Ze względu na to, że obszar taki powinien być możliwy do „wykorzystania” tylko z wyjątkowych sytuacjach (np. konieczność obsługi obrabiarki) wprowadźmy do kryterium nagradzania dodatkowy parametr korygujący wagę ω , powodujący „wyszałcenie się” strefy wzajemnego przyciągania potencjałów.

Celem tak zdefiniowanego dodatkowego oddziaływania potencjału jest:

- obniżenie atrakcyjności obszarów siatki pomiędzy obiektami, ale w taki sposób, by korekta wagi jedynie zniechęciła planer robota do swobodnego penetrowania tego obszaru, gdyż obszar taki niewątpliwie znacznie utrudnia swobodę działania,



Rys. 4. Sposób wyznaczania parametru C_3

$$C_3 = \begin{cases} \frac{1}{k} & \text{dla } k \in \left(0, \frac{l_{x,y,x}^i}{2}\right) \\ 1 & \text{dla } k = 0 \end{cases}$$

określający wagę uzyskiwanych ocen w omawianym przypadku.

Przyjęta postać współczynnika korekcyjnego, C_3 jest jednak obarczona pewną wadą. Mianowicie, elementem decydującym jest długość boku wzdłuż którego obiekty sąsiadują ze sobą. Ale ze względu na to, że celem przyjętej korekcji jest zarówno zniechęcenie robota do penetrowania tego obszaru, jak i zachęcenie go do jego opuszczenia, zatem przyjęto, że ten parametr korekcyjny narasta do $\frac{1}{2}$ długości boku przeszkody, przy spełnieniu warunku, że:

$$2k = \min(l^j, l^m)$$

gdzie l^j, l^m – długości boków sąsiadujących obiektów.

Zatem uogólniając, omówione dotychczas przypadki wpływające na wartość wagi ω korygującej przyjęty system oceniania działań robota w taki sposób, że:

$$\omega = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3$$

Tak więc, wykorzystując określony powyżej system wag można w bezpośredni sposób wpływać na sposób nagradzania „uczniarobota” próbującego w możliwie najlepszy sposób, czyli taki który zagwarantuje najwyższą ocenę za zrealizowanie drogi do celu, co umożliwi wyznaczenie trajektorii bezkolizyjnej w złożonym środowisku robota.

- umożliwienie wejścia w ten obszar na zasadzie „im głębiej tym trudniej”, co pozwoliłoby na skorzystanie z tych miejsc jedynie wtedy, gdy jest to konieczne ze względów technologicznych oraz ułatwiło opuszczenia tej strefy poprzez nagradzanie kroków zmierzających do jej opuszczenia.

Dlatego proponuje się uwzględnić dodatkowy parametr o wartości równej:

4. Zakończenie

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że zagadnienie analizy przestrzeni roboczej robota bazujące na procesach decyzyjnych Markowa sprowadza się do dwóch zagadnień:

- kwantyzacji przestrzeni, czy wyznaczenie odpowiednio małego jej obszaru, który pozwoliłby na jednoznaczne zakwalifikowanie go jako dostępnego, czyli wolnego od jakichkolwiek przeszkód lub całkowicie zajętego i na tej podstawie komponowanie trajektorii do wyznaczonego miejsca w przestrzeni,
- wyznaczenie zasad unikania przeszkód które przy zastosowaniu zasady poszukiwania najkrótszej drogi pozwoli na znalezienie obejścia napotkanych przeszkód.

Zaproponowana metoda wykorzystuje system wag dzięki którym możliwe jest:

- związanie wielkości kwantowanych obszarów przestrzeni roboczej robota zarówno z wielkością przedmiotu manipulowanego jak i stopniem jej zagęszczenia obiektami technologicznymi,
- swobodne, w ramach przyjętych założeń rozwiązania zadania planowania, kształtowanie wpływu obiektów-przeszkód na kształt trajektorii poprzez kształtowania zakresu oddziaływania potencjału.

Dzięki wykorzystaniu metodyki procesów decyzyjnych Markowa iteracyjną zasadę podziału każdego skwantowanego obszaru przestrzeni można zastosować jedynie do obszarów nierozpoznanych, co znacznie upraszcza złożoność procesu poszukiwania przestrzeni.

Literatura

1. Dulemba I: Metody i algorytmy planowania ruchu robotów mobilnych i manipulacyjnych. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2001.
2. Saramago Sezimaria F.P., Valder St. J.: Optimal trajectory planning of robot manipulators in the presence of moving obstacles. Mechanism and Machine Theory. No. 35 (2000), Pergamon Press, pp. 1079-1094.
3. Nagabhusham P., Manohara Pai M.M.: Cognition of free space for planning shortest path: A framed free space approach. Pattern Recognition Letters 22 (2001), Elsevier New Holland, 971-981.
4. Ting Y., Lei W.I., Jar H.C.: A path planning algorithm for industrial robots. Computers & Industrial Engineering, 42 (2002), Pergamon Press, pp. 299-308.
5. Kuu-Young Y., Chun-Yuh H.: Collision-free Path Planning and Modification Based on Task Requirements. Mechanism and Machine Theory, Vol.32, No. 1, Pergamon Press 1997, pp.21-37.
6. Leng D.Y., Mingyuan Ch.: Robot Trajectory Planning using Simulation. Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 13, No. 2, Pergamon 1997, pp. 121-129.
7. Kost G.G., Stankiewicz K.: Stochastic Markov's decision making process in analysis of robot working space. Proceedings of the Symposium on Methods of Artificial Intelligence AI-METH 2003. Edts. T. Burczyński, W. Cholewa, W. Moczulski, Gliwice 2003, pp. 70-71.