

Krzysztof SKRZYPCZYK

HEURYSTYCZNA METODA POSZUKIWANIA BEZKOLIZYJNEJ ŚCIEŻKI ROBOTA MOBILNEGO

Streszczenie. Przedstawiona praca porusza problem planowania ścieżki robota mobilnego w środowisku pomieszczeń zamkniętych, bazujący na geometrycznej reprezentacji otoczenia. Przedstawiono algorytm wyznaczania bezkolizyjnej ścieżki, wykorzystujący ideę dekompozycji przestrzeni. Główny nacisk położono na heurystyczne metody wyznaczania segmentów ścieżki zbliżającej robot do zadanego punktu.

HEURISTIC METHOD OF A MOBILE ROBOT COLLISION FREE PATH SEARCH

Summary. Path planning problem for a mobile robot operating in a human-made environment is considered in this paper. Collision free path search algorithm based on space decomposition method is described. Heuristic methods of goal approaching are discussed.

1. Wstęp

Podstawową właściwością autonomicznego robota mobilnego jest jego zdolność do samodzielnego poruszania się w otoczeniu o całkowicie nieznanym bądź znanym tylko częściowo modelu i reagowania na dynamiczne zmiany tego otoczenia. Innym wymogiem stawianym wobec systemu robota mobilnego jest możliwości gromadzenia, przetwarzania i aktualizowania informacji (budowa i modyfikacja map) o środowisku, w którym funkcjonuje [11].

Wymaga się zatem od niego działania noszącego znamiona „inteligencji” zbliżonej do ludzkiej. Realizacja tak sformułowanych zadań wymaga rozwiązania szeregu poważnych problemów, do których można zaliczyć między innymi:

- określenie lokalizacji robota względem otoczenia,
- budowę i aktualizację modelu otoczenia (map),
- planowanie i realizację działań (ruchu) robota,

- konieczność działania na podstawie niepewnej i niekompletnej informacji o środowisku pozyskanej przez system sensoryczny robota.

Rozpatrując działanie systemu robota mobilnego pod kątem Sztucznej Inteligencji za najistotniejszy można uznać problem planowania ruchu. Od sposobu jego rozwiązania zależy bowiem jakość (racjonalność w ludzkim pojęciu) realizacji zadania postawionego przed systemem robota. Możliwe są dwa rodzaje podejść do rozwiązania wymienionego problemu: teoretyczne i heurystyczne. Istotną wadą pierwszego z nich jest to, iż skonstruowane na ich podstawie algorytmy są zbyt skomplikowane dla realnych implementacji. Zasadniczym minusem drugiego z nich jest fakt, iż nie daje gwarancji, czy opracowana metoda da rozwiązanie dla wszystkich przypadków. Pomimo swoich wad podejście heurystyczne jest najchętniej stosowane w praktycznych realizacjach ze względu na stosunkową łatwość implementacji oraz możliwość wykorzystania reguł decyzyjnych odniesionych do „ludzkiego” modelu zachowań.

Rozważania zawarte w dalszej części tego opracowania ograniczą się do podejścia typu heurystycznego. W szczególności rozpatrzony zostanie problem planowania bezkolizyjnej ścieżki. Położony zostanie nacisk na proces podejmowania decyzji o wyborze kierunku ruchu, w przypadku posiadania informacji jedynie wokół bieżącej konfiguracji robota. Przedstawione zostaną wyniki badań symulacyjnych i na ich podstawie dokonane będzie porównanie zaproponowanych w pracy modyfikacji algorytmów planowania ścieżki.

2. Założenia

Otoczenie

Dla potrzeb omawianych zagadnień zakładamy, iż obszar działania robota jest środowiskiem pomieszczeń zamkniętych. Przestrzeń jest skomponowana z obszarów (pokoje, korytarze, hale fabryczne) oraz elementów łączących te obszary (drzwi, bramy).

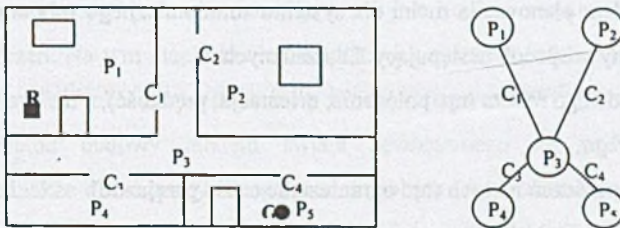
Model otoczenia reprezentowany jest na dwóch poziomach:

1. Poziom topologiczny, na którym obszary ograniczone są węzłami, natomiast elementy łączące te obszary - łukami .
2. Poziom geometryczny, na którym otoczenie reprezentowane jest przez dwuwymiarową, geometryczną mapę otoczenia.

Takie podejście cechuje się niewielkim rozmiarem pamięci, w której przechowywany jest model (w stosunku do reprezentacji rastrowej) oraz małą złożonością obliczeniową potrzebną do przetwarzania posiadanych map.

Kolejnym ograniczeniem nałożonym na kształt obiektów otoczenia jest to, by posiadały jednakowe wymiary na całej swej wysokości. Takie uproszczenie staje się konieczne w celu zapewnienia jednoznaczności odwzorowania otoczenia w dwuwymiarowej mapie. Aby uwzględnić w większym stopniu złożoność otoczenia, należałoby zbudować trójwymiarową lub przynajmniej warstwową (2.5D) mapę otoczenia. Sposoby tworzenia takich map opisano w [9].

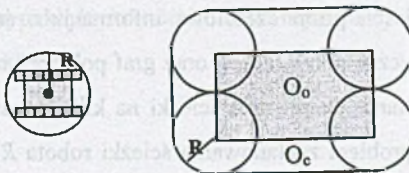
Zakłada się ponadto, iż dana jest częściowa informacja a priori o otoczeniu w postaci zdefiniowanego grafu połączeń między obszarami (pomieszczeniami) wchodzącymi w skład otoczenia robota (rys.1).



Rys. 1. Topologiczna reprezentacja otoczenia robota
Fig. 1. Topological representation of robot environment

Robot

Przyjmujemy, iż planujemy ruch jednego z punktów należących do robota (np. środka ciężkości), a obiekty otoczenia (O_o) przekształcamy powiększając je o promień okręgu R opisanego na dwuwymiarowym rzucie platformy jezdnej robota (rys.2). Sprowadzamy tym samym problem planowania ruchu robota do problemu planowania ruchu jego środka ciężkości [1],[4].



Rys. 2. Powiększenie obiektów otoczenia
Fig. 2. Environmental objects enlarging

Kolejne założenie dotyczy systemu sensorycznego robota. Przyjmujemy, iż główny system sensoryczny (wizyjny) składa się z dalmierza IR lub laserowego umieszczonego na obrotowej platformie, której kąt obrotu $\alpha \in \langle 0, 360^\circ \rangle$. Dalmierz zaopatrzony jest w ruchome zwierciadło, umożliwiające ustawienie płaszczyzny przeszukiwania (odległość płaszczyzny od podłoża). Konstrukcję i parametry urządzenia tego typu przedstawiono w [9].

Dodatkowo wymaga się, by układ jezdny robota posiadał zerowy promień skrętu (możliwość zawrócenia w miejscu), natomiast platforma jezdna posiadała kształt dający się z dużą dokładnością przybliżyć okręgiem [4], [6].

3. Planowanie ruchu

Ogólny problem planowania ruchu dla systemu autonomicznego robota mobilnego może być sformułowany w sposób następujący. Dla zadanych:

- stanu początkowego robota (np. położenie, orientacja, prędkość),
- stanu końcowego,
- dowolnych ograniczeń na ruch (np. ograniczenie czasu przejazdu)

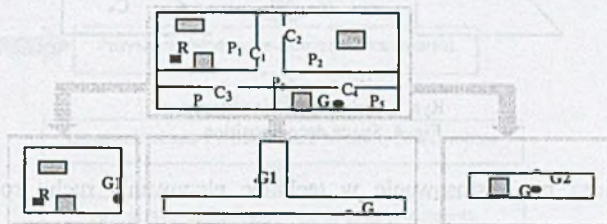
znaleźć bezkolizyjną ścieżkę przeprowadzającą robot ze stanu początkowego do końcowego, spełniającą dodatkowo nałożone na nią ograniczenia [5], [11].

Korzystając z założeń poczynionych w punkcie 2 oraz przyjmując, iż środowisko jest statyczne oraz jedynym ograniczeniem nałożonym na ruch robota jest brak kolizji z przeszkodami, wystarczające jest sprowadzenie problemu planowania ruchu do planowania bezkolizyjnej ścieżki przeprowadzającej robot (środek ciężkości robota) z punktu $S(x_1, y_1)$ do $K(x_2, y_2)$.

Dekompozycja problemu planowania

W przypadku gdy znana jest a priori częściowa informacja o środowisku robota (np. lokalizacja i wymiary geometryczne pomieszczeń oraz graf połączeń między nimi), możliwe jest podzielenie globalnego zadania planowania ścieżki na kilka prostych zadań nawigacyjnych. Rysunek 1 przedstawia problem zaplanowania ścieżki robota R przeprowadzającej go do danego punktu docelowego G wewnątrz budynku o znanym modelu rozkładu po-

mieszkań. Na rysunku 3 pokazano sposób podziału pierwotnego problemu planowania ścieżki na trzy proste zadania nawigacyjne.



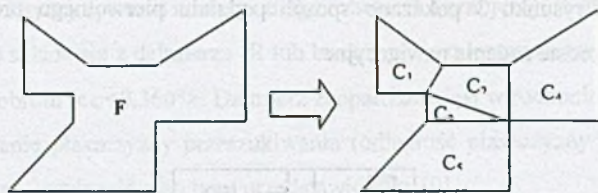
Rys. 3. Dekompozycja pierwotnego problemu planowania ścieżki robota
Fig. 3. Primary path planning problem decomposition

Każde z tak utworzonych podzadań rozwiązywane jest już bez znajomości wewnętrznej struktury pomieszczeń. Na tym etapie konieczne jest więc zebranie informacji o otoczeniu i rozpoczęcie przez system robota procesu budowy wewnętrznego modelu otoczenia (mapy).

Istnieje wiele metod budowy modelu świata zewnętrznego na podstawie danych sensorycznych. Jednakże dla rozpatrywanego modelu robota (wyposażonego w dalmierz IR) oraz przyjętego typu reprezentacji modelu otoczenia (geometrycznej) najwłaściwsze wydaje się wykorzystanie idei dekompozycji przestrzeni [7], [11].

Metoda dekompozycji przestrzeni

W zastosowaniu do przestrzeni 2D idea dekompozycji polega na podziale obszaru F na n nie zachodzących na siebie obszarów (komórek) C_i , całkowicie pokrywających obszar F (rys.4). Geometria komórek, na które dekomponowany jest obszar F , powinna spełniać odpowiednie wymagania, z których najważniejsze jest to, aby łatwo można było wyznaczyć segment ścieżki między dwoma punktami w obrębie komórki. To wymaganie najłatwiej jest spełnić zapewniając wypukłość komórki, toteż najczęściej ma ona swą reprezentację w postaci wielokąta wypukłego.



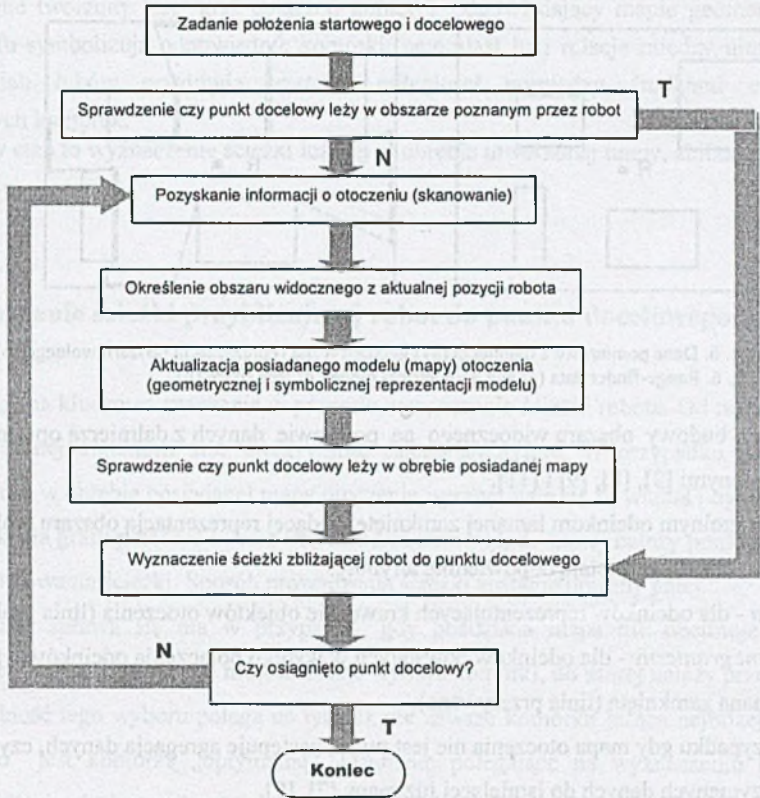
Rys. 4. Dekompozycja przestrzeni
Fig. 4. Space decomposition

Opisywana idea ma zastosowanie w technice planowania ruchu robota zarówno w przypadku, gdy znany jest model całego otoczenia jak i, gdy posiadany jest tylko model przestrzeni wokół bieżącego położenia robota. W drugim z przypadków dekomponowany obszar F ma interpretację jako przestrzeń wolna od przeszkód, wykryta przez system sensoryczny w bieżącym położeniu robota. Po otrzymaniu wynikowej dekompozycji obszaru tworzy się graf połączeń reprezentujący relacje incydencji poszczególnych obszarów. Węzły tego grafu symbolizują komórki, natomiast łuki - relacje wzajemnego sąsiedztwa. Technika ta stosowana jest do budowy i aktualizacji geometrycznej oraz symbolicznej reprezentacji (graf połączeń) mapy przestrzeni wolnej w otoczeniu robota. Na podstawie otrzymanej mapy podejmowane są dalsze decyzje dotyczące planowania ruchu robota.

Proces poszukiwania przez system robota bezkolizyjnej ścieżki na podstawie danych dostarczanych przez system sensoryczny można podzielić na kilka etapów:

1. Budowa geometrycznej reprezentacji przestrzeni wolnej wokół robota.
2. Agregacja danych.
3. Dekompozycja otrzymanej przestrzeni i utworzenie grafu połączeń.
4. Wyznaczenie trajektorii zbliżającej robot do położenia końcowego.

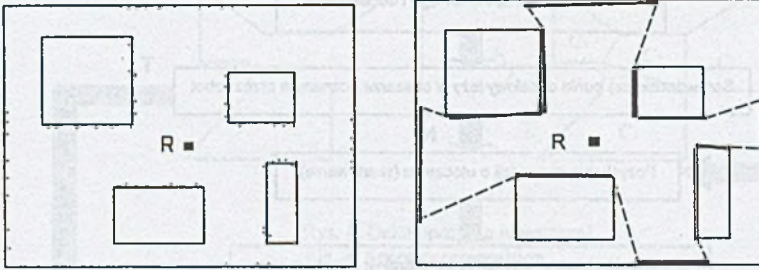
Etap czwarty stanowi najistotniejsze zagadnienie rozwiązywane w niniejszej pracy, dlatego też zostanie poświęcony mu osobny rozdział. Ogólną postać algorytmu wyznaczania ścieżki przeprowadzającej robot od położenia bieżącego do docelowego przedstawia schemat blokowy zamieszczony na rys. 5.



Rys. 5. Algorytm wyznaczania bezkolizyjnej ścieżki
 Fig. 5. Collision free path search algorithm

Pierwszym etapem działania algorytmu jest pobranie informacji o otoczeniu. W omawianym przypadku następuje to przez wykonanie za pomocą dalmierza pomiarów odległości robota do najbliższych obiektów otoczenia. Realizowane jest to przez obrót głowicy skanującej o 360°, w trakcie którego dalmierz wykonuje pomiary z zadanym skokiem kąta. Dane są następnie poddawane obróbce mającej na celu usunięcie szumów i pomiarów obciążonych błędem grubym. Znając położenie robota, wartość kąta i odległość do przeszkody można wyznaczyć współrzędne punktów odzwierciedlających konfigurację obiektów otoczenia.

Na podstawie tak otrzymanych danych budowana jest geometryczna reprezentacja przestrzeni wolnej od obiektów, widziana z aktualnej pozycji robota, mająca postać łamanej zamkniętej (rys.6).



Rys. 6. Dane pomiarowe z dalmierza (a) i geometryczna reprezentacja obszaru wolnego (b)
 Fig. 6. Range-finder data (a) and geometrical model of free space (b)

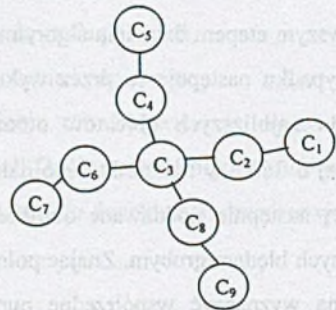
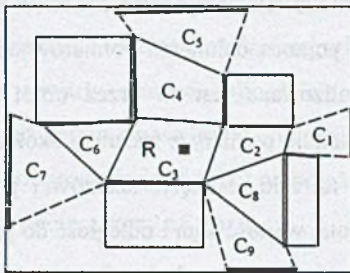
Metody budowy obszaru widocznego na podstawie danych z dalmierza opisane zostały w między innymi [3], [8], [9] i [11].

Poszczególnym odcinkom łamanej zamkniętej będącej reprezentacją obszaru wolnego od przeszkód przypisane zostają odpowiednie atrybuty:

- *ściana* - dla odcinków reprezentujących krawędzie obiektów otoczenia (linia gruba),
- *element graniczny* - dla odcinków powstałych w wyniku połączenia odcinków typu *ściana* w łamaną zamkniętą (linia przerywana).

W przypadku gdy mapa otoczenia nie jest pusta, następuje agregacja danych, czyli dodanie nowo otrzymanych danych do istniejącej już mapy [7], [9].

Kolejny etap to dokonanie dekompozycji otrzymanego wcześniej obszaru na komórki o geometrii wielokąta wypukłego (rys. 7). Odcinki, na których graniczą ze sobą komórki, otrzymują atrybuty *łącznie*.



Rys. 7. Dekompozycja obszaru wolnego od przeszkód (reprezentacja geometryczna) i odpowiadający jej graf połączeń (reprezentacja symboliczna)

Fig. 7. Obstacle free space decomposition and related connectivity graph

Następnie tworzony jest graf połączeń komórek odpowiadający mapie geometrycznej. Węzły grafu symbolizują odpowiednie komórki, natomiast łuki relacje między nimi. Wagi odpowiednich łuków przyjmują wartości odległości pomiędzy środkami ciężkości sąsiadujących komórek.

Kolejny etap to wyznaczenie ścieżki leżącej w obrębie utworzonej mapy, zbliżającej robot do punktu docelowego.

4. Wyznaczanie ścieżki przybliżającej robot do punktu docelowego

Ten etap ma kluczowe znaczenie w procesie wyznaczania ścieżki robota. Od niego zależy jakość uzyskanej trajektorii oraz efektywność całego algorytmu. W przypadku gdy punkt docelowy leży w obrębie posiadanej mapy otoczenia, sprawa staje się trywialna i ogranicza się do przeszukania grafu połączeń w celu odnalezienia komórki, do której należy punkt końcowy oraz wygenerowania ścieżki. Sposób prowadzenia ścieżki zostanie opisany dalej.

Inaczej sprawa się ma w przypadku, gdy posiadana mapa nie obejmuje punktu docelowego. Wówczas algorytm musi dokonać wyboru komórki, do której należy przemieścić robot. Trudność tego wyboru polega na tym, iż nie zawsze komórka leżąca najbliżej punktu docelowego jest komórką „optymalną”. Działanie polegające na wyznaczeniu komórki leżącej najbliżej celu jest najbardziej pożądane, jednakże nie zawsze daje optymalny rezultat. Dlatego do wyznaczania komórki stosuje się najczęściej heurystyczne reguły wyboru lub heurystyczne funkcje kosztów związane z przemieszczeniem robota.

4.1. Heurystyczna funkcja kosztów

Zadanie wyznaczenia trajektorii zbliżającej realizowane jest przez zastosowanie algorytmu poszukiwań klasy A^* [6]. Algorytm ten zaprojektowany został do znajdowania optymalnej ścieżki w grafie, która minimalizuje (lub maksymalizuje) funkcję kosztów w postaci:

$$f(n) = g(n) + h(n),$$

gdzie:

$g(n)$ - koszt związany z przejściem do węzła n ,

$h(n)$ - heurystyczna ocena kosztu przejścia z węzła n do celu.

Jeśli punkt docelowy leży w obrębie posiadanej mapy, to funkcja $f(n)$ redukuje się do składowej $g(n)$ i wówczas problem sprowadza się do znalezienia najkrótszej ścieżki w grafie, np. za pomocą algorytmu Dijkstry [2]. W pozostałych przypadkach należy wybrać odpowiednią postać funkcji $h(n)$.

Poniżej zaproponowano jeden ze sposobów oceny kosztu związanego z wyborem n -tej komórki mapy. Jej ogólną postać można przedstawić następująco:

$$h(n) = d(n)(1 + w \cdot a(n)),$$

gdzie:

$d(n)$ - część określająca odległość środka elementu granicznego od punktu docelowego określona wzorem:

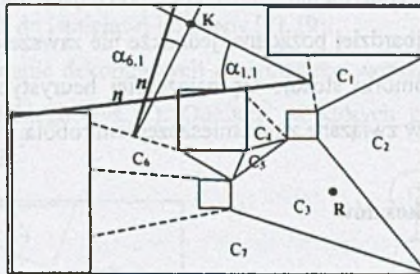
$$d(n) = \sqrt{(x_k - x_{sn,i})^2 + (y_k - y_{sn,i})^2}$$

x_k, y_k - współrzędne punktu docelowego,

$x_{sn,i}, y_{sn,i}$ - współrzędne środka i -tego elementu granicznego należącego do n -tej komórki,

$a(n)$ - oszacowanie „kąta widzenia” punktu docelowego przez robot,

w - współczynnik wagi z przedziału $\langle 0, 1 \rangle$.



Rys. 8. Graficzna interpretacja kąta $\alpha_{n,i}$
Fig. 8. Graphical interpretation of angle $\alpha_{n,i}$

Na rysunku 8 zilustrowano graficzną interpretację kąta $\alpha_{n,i}$. Wartość $\alpha_{n,i}$ wyznacza się jako wielkość kąta zawartego między prostą prostopadłą do i -tego elementu granicznego należącego do n -tej komórki a prostą przechodzącą przez dwa punkty: środek elementu granicznego $S(x_{sn,i}, y_{sn,i})$ i punkt docelowy $K(x_k, y_k)$. Natomiast składową $a(n)$ jako:

$$a(n) = \min_i \left(\frac{\alpha_{n,i}}{360} \right)$$

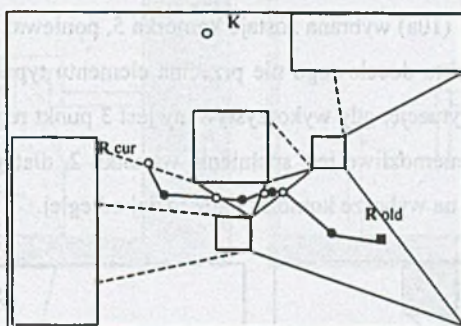
Składowa $a(n)$ może być rozumiana jako pewna miara oceny usytuowania robota względem punktu docelowego i obiektów. Z drugiej jednak strony wymagane jest, by robot przemieścił się możliwie blisko celu, toteż wprowadzony został współczynnik wagi w służący do określania wpływu czynnika $a(n)$ na wartość funkcji $h(n)$. Zawiera się on w przedziale $\langle 0,1 \rangle$, a jego dobór jest dokonywany doświadczalnie.

Rezultatem działania algorytmu jest wybranie środka j -tego elementu granicznego należącego do k -tej komórki, do którego zostaje przemieszczony robot.

Istotną sprawą jest prowadzenie ścieżki w obrębie poznanej przestrzeni. Generowana ścieżka powinna spełniać dwa podstawowe wymagania:

- mieć jak najmniejszą długość,
- przebiegać w jak największej odległości od przeszkód.

Pogodzenie obydwu wymagań jest sprawą trudną, bowiem prowadzenie ścieżki w bezpiecznej odległości od przeszkód powoduje jej wydłużenie. Poniżej zaproponowano sposób, spełniający w jakimś stopniu przedstawione wymagania (rys.9).



Rys. 9. Sposób prowadzenia ścieżki
Fig. 9. The path assignment

Ścieżka jest wyznaczana przez środki ciężkości komórek (punkty czarne), środki elementów granicznych oraz łączników (punkty białe). Tak poprowadzona ścieżka przeprowadza robota pomiędzy dwoma położeniami możliwie daleko od przeszkód. Skrócenie długości tak otrzymanej ścieżki można osiągnąć przez zastosowanie algorytmów wygładzania np. algorytmu redukcji węzłów [7].

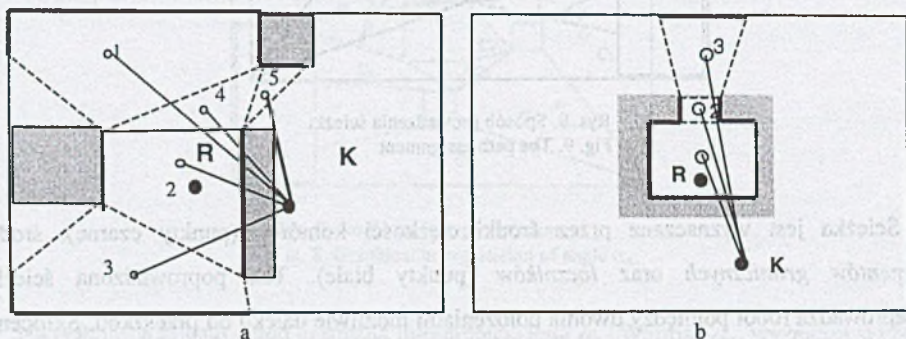
4.2. Heurystyczne reguły wyboru komórki

Innym sposobem znalezienia komórki, do której należy przemieścić robot, jest zastosowanie tzw. reguł wyboru będących algorytmami postępowania, których celem jest określenie „optymalności” danej komórki. Są to całkowicie heurystyczne algorytmy bazujące na doświadczeniach, obserwacjach i analogii do ludzkiego sposobu postępowania. Poniżej przedstawiono przykładową regułę, mogącą mieć zastosowanie dla modelu, w którym jako jedyny punkt charakterystyczny danej komórki przyjęty został jej środek ciężkości.

Przykładowa reguła wyboru

1. Wybór komórki, której środek leży najbliżej punktu docelowego, spełniającej równocześnie warunek 2.
2. Dobór komórki tak, aby prosta łącząca środek rozpatrywanej komórki z punktem docelowym nie przecinała elementu typu „ściana”.
3. W przypadku niemożności spełnienia warunku 2 wybór komórki najbardziej oddalonej od punktu końcowego.

Na rysunku 10 przedstawiono graficzną interpretację podanej wyżej reguły. Dla zamieszczonego przykładu (10a) wybrana zostaje komórka 5, ponieważ prosta prowadzona ze środka komórki 5 do punktu docelowego nie przecina elementu typu *ściana*. Natomiast na rys. 10b zaprezentowano sytuację, gdy wykorzystywany jest 3 punkt reguły. Robot *R* znajduje się w miejscu, z którego niemożliwe jest spełnienie warunku 2, dlatego następuje działanie odwrotne do 1, polegające na wyborze komórki najbardziej odległej.



Rys. 10. Graficzna interpretacja reguły wyboru
Fig. 10. Graphical interpretation of the selection rule

5. Wyniki symulacji

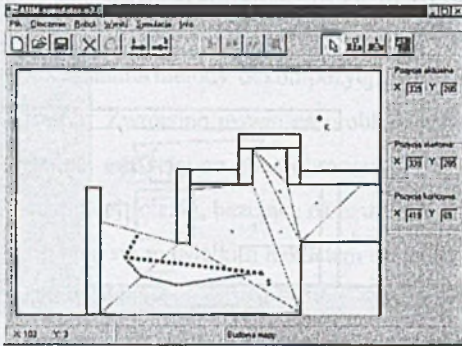
W tym rozdziale zaprezentowano wyniki symulacji komputerowych przeprowadzonych za pomocą programu *ARMSymulator*. Pokazują one różnice w jakości ścieżek prze-

prowadzających robot z położenia startowego do docelowego, otrzymanych w wyniku zastosowania :

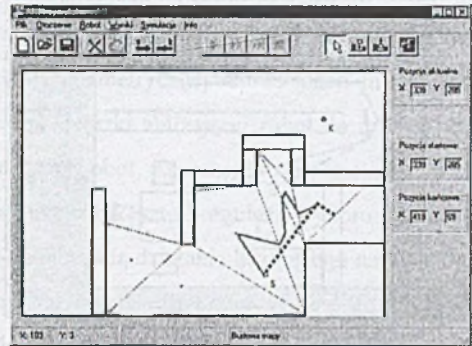
- heurystycznej funkcji kosztów $f(n)$, opisanej w punkcie 4.1,
- heurystycznej reguły wyboru, opisanej w punkcie 4.2.

5.1. Generowanie ścieżki przybliżającej robot do punktu docelowego

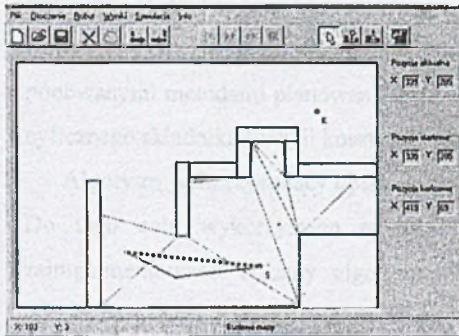
Dalej przedstawiono porównanie działania algorytmów zbliżania robota do położenia docelowego, z zastosowaniem metod opisanych w punkcie 5: metoda bazująca na wykorzystaniu funkcji kosztów z czynnikiem heurystycznym $h(n)$ (rys.11a), bez czynnika $h(n)$ (rys.11b) oraz heurystyczna reguła wyboru (rys.11c). Linia ciągłą zaznaczono ścieżki uzyskane w wyniku działania poszczególnych algorytmów, natomiast linią przerywaną ścieżki otrzymane po zredukowaniu liczby węzłów ścieżek pierwotnych.



a



b



c

Rys. 11. Porównanie metod przybliżania robota do punktu docelowego
Fig. 11. Comparison of goal approach methods

Jak zostało pokazane na rys.12, algorytmy bazujące na funkcji kosztów z czynnikiem $h(n)$ (rys.12a) oraz na heurystycznej regule wyboru (rys.12c) wygenerowały prawidłową, bezkolizyjną ścieżkę. Dodatkowo ścieżka z rys.12a po zredukowaniu liczby węzłów przebiega w większej odległości od przeszkód, przez co umożliwia bezpieczniejsze przemieszczenie robota. Natomiast użycie funkcji kosztów bez czynnika $h(n)$ (rys.12b) nie dało rozwiązania problemu.

5. Podsumowanie

W zaprezentowanej pracy poruszono problem planowania ruchu (wyznaczania ścieżki) robota mobilnego, pracującego w otoczeniu o częściowo znanym modelu. Takie podejście wydaje się racjonalne, gdyż upraszcza problem planowania ruchu w otoczeniu o skomplikowanym układzie pomieszczeń. Pokazano algorytm rozwiązujący ten problem przy wykorzystaniu metody dekompozycji przestrzeni dla geometrycznej reprezentacji modelu otoczenia. Zwrócono uwagę na problem wyznaczania ścieżki zbliżającej robot do celu w przypadku, gdy leży on poza obszarem poznanym przez robot. Zaprezentowano metody wyznaczania tej ścieżki, bazujące na heurystycznych funkcjach kosztu i regułach wyboru. Metody te cechują się niewielkim nakładem obliczeń i racjonalnością działania bazującego na nich algorytmu planowania ruchu. Należy tutaj podkreślić, iż efektywność działania całego algorytmu wyznaczania ścieżki w dużej mierze zależy od zastosowanych funkcji kosztu lub reguł wyboru. Opisane metody, oparte na regułach wyboru, różnią się istotnie od spotykanego w literaturze, np.[3], tradycyjnego sposobu wyznaczania trajektorii zbliżającej robot do punktu docelowego i wydają się od nich bardziej efektywne. Różnica pomiędzy stosowanymi a zaproponowanymi metodami planowania ścieżki leży w zastosowaniu heurystycznych reguł i specyficznego składnika funkcji kosztu na etapie wyznaczania ścieżki zbliżającej robot do celu.

Algorytm wykorzystujący opisaną regułę wyboru przetestowany został symulacyjnie [8]. Do tego celu wykorzystano aplikację napisaną w środowisku Delphi3®, w której zaimplementowano opisany algorytm. Wyniki uzyskane za jego pomocą potwierdzają skuteczność zastosowanej metody. Praca powstała w ramach badań statutowych Instytutu Automatyki Politechniki Śląskiej. Autor dziękuje prof. A. Świerniakowi za inspiracje do podjęcia prac związanych z omawianą tematyką oraz udzielane uwagi przy prowadzeniu badań.

LITERATURA

1. Charniak E., McDermott D., Introduction to artificial intelligence part 2. Addison Wesley Publishing Company.
2. Deo N. Teoria grafów i jej zastosowania w technice i informatyce. PWN, Warszawa 1980.
3. Fortuna. A., Sileikis W., Algorytm nawigacji robota mobilnego w przestrzeni 2D. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Automatyka z. 119, str. 161-172, Gliwice 1996.
4. Kwolek B., Metody i narzędzia inżynierii transputerowej i ich zastosowanie w sterowaniu ze sprzężeniem wizyjnym, Rozprawa doktorska, Kraków 1998.
5. Latombe J., "Robot motion planning". Kluwer Academic Publishers 1991.
6. Popovic D., Bhatkar V.P., Methods and tools for applied artificial intelligence. Marcel Dekker Inc. New York-Basel- Hong Kong 1994.
7. Skrzypczyński P., Metody wyznaczania ścieżki robota mobilnego oparte na podziale przestrzeni. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Automatyka z. 119, str. 193-203, Gliwice 1996.
8. Skrzypczyński P., Woźniak A., Geometryczny model otoczenia do celów nawigacji robota mobilnego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Automatyka z. 115, str. 379-391, Gliwice 1996.
9. Skrzypczyński P., Budowa geometrycznych map otoczenia do celów nawigacji autonomicznego robota mobilnego. Rozprawa doktorska, Poznań 1997.
10. Skrzypczyk K., Badania symulacyjne modelu omijania przeszkód przez robota inteligentnego. Praca dyplomowa magisterska, Gliwice 2000.
11. Wilfong G.T., Cox I.J., Autonomous robot vehicles. Springer-Verlag 1990.

Recenzent: Prof. dr hab.inż. Krzysztof Kozłowski

Wpłynęło do Redakcji 5.05.2001 r.

Abstract

The paper presents motion planning problem for a mobile robot operating in a human-made environment. Collision free path search algorithm based on space decomposition method is described. Geometrical representation of free space model is used. Model of holonomic robot vehicle equipped with IR or laser range - finder is applied.

Heuristic approach to the path search problem is presented. Two ways of path search are discussed:

- A* algorithm guided by heuristic cost function ,
- heuristic selection rule.

Methods of the cost function and selection rule design are proposed. The main difference between described approach and the others path search algorithms consist in using proposed cost function and selection rules. Described algorithm was simulated and results proved its efficiency.