

Krzysztof SKRZYPCZYK

Politechnika Śląska

BEHAVIORALNA METODA BEZKOLIZYJNEGO STEROWANIA RUCHEM ROBOTA MOBILNEGO

Streszczenie. W prezentowanej pracy przedstawiono behawioralne podejście do problemu sterowania w sposób bezkolizyjny ruchem robota mobilnego działającego w dynamicznym otoczeniu o nieznanym modelu. Zaprezentowano syntezę systemu sterowania umożliwiającego wykonywanie przez robot podstawowych zadań nawigacyjnych. Zaproponowano użycie mechanizmu koordynacji zachowań bazującego na arbitrażu priorytetowym. Pokazano wyniki symulacyjne, prezentujące działanie omawianego systemu.

BEHAVIOUR BASED APPROACH TO CONTROLLING A MOBILE ROBOT COLLISION FREE MOVEMENT

Summary. An behavior based approach to a mobile robot collision free movement control in unknown and dynamic environment is discussed in the paper. A synthesis of the robot control system that performs a point-to-point navigation task is presented. The use of a fixed priority arbitration mechanism for behaviors coordination was proposed. Simulation results of the proposed algorithm are also described.

1. Wprowadzenie

Jednym z podstawowych wymagań stawianych systemowi sterowania robota mobilnego jest jego autonomiczność, czyli zdolność do działania robota bez udziału człowieka w środowisku o nieznanym modelu oraz do reagowania na dynamiczne zmiany tego otoczenia [3]. Tradycyjne (bazujące na użyciu modułu planującego) podejścia do konstrukcji systemów sterowania robotów często zawodzą z powodu niedokładności i niepewności danych pomiarowych oraz nieprzewidywalności otoczenia [3,4,8,10]. Zasadniczą wadą tego podejścia jest niemożność dostatecznie szybkiego reagowania przez system sterowania na dynamiczne zmiany otoczenia robota. Z tego powodu zaistniała potrzeba poszukiwania szybszych i skuteczniejszych metod sterowania ruchem robota mobilnego.

Jednym z podejść jest budowa systemu sterowania bazującego na tzw. *architekturze reaktywnej*. Cechą charakterystyczną architektury reaktywnej jest to, iż strategia sterowania ruchem robota jest zrealizowana w postaci kolekcji par warunek-akcja, które sprzęgają w sposób bezpośredni wejście (dane sensoryczne) wraz z wyjściem (elementy napędowe). Systemy bazujące na tej architekturze nie zawierają wewnętrznego modelu otoczenia oraz nie gromadzą danych, jak również nie wykonują żadnych operacji planowania. Istotą ich działania jest bezpośrednio reagowanie na odczyty sensorów poprzez generowanie odpowiedniej akcji (ruch elementów napędowych). Przykładem systemu tego typu jest architektura Breitenberga [2].

Innym podejściem do konstrukcji systemu sterowania jest tak zwane podejście behawioralne. Architektura takiego systemu zawiera w sobie pewne własności architektury reaktywnej i może składać się z modułów reaktywnych. Jednakże zasadniczą cechą behawioralnego systemu sterowania jest jego rozproszona struktura. System złożony jest ze zbioru równolegle wykonywanych modułów zwanych zachowaniami (behaviors) i pozbawiony centralnego modułu planującego. W odróżnieniu od architektury czysto reaktywnej, system bazujący na podejściu behawioralnym może posiadać formy reprezentacji modelu otoczenia i przetwarzać je w celu realizacji określonych zadań [1,5,7,9].

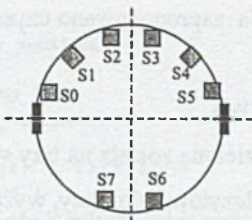
W prezentowanej pracy zaproponowano użycie podejścia behawioralnego do bezkolizyjnego sterowania ruchem robota mobilnego. Prezentowany system sterowania umożliwia realizację przez robot prostych zadań nawigacyjnych w dynamicznym środowisku o nieznanym modelu.

1.1. Robot KHEPERA

Jako platformę testową dla proponowanego systemu sterowania zastosowano robot Khepera. Jest to laboratoryjny robot o średnicy ok. 5 cm, wyposażony w procesor Motorola 68331, 256 KB pamięci RAM i 512 KB pamięci ROM. Napędzany jest przez dwa silniki prądu stałego. Pozycja robota mierzona jest za pomocą enkoderów zamontowanych na osiach napędowych silników.

1.2. Charakterystyka sensorów

System sensoryczny robota Khepera składa się z 8 dalmierzy działających w podczerwieni, rozmieszczonych wokół korpusu robota w sposób pokazany na rysunku 1.



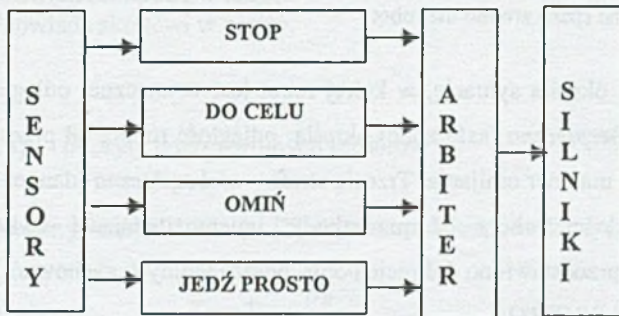
Rys. 1. Rozmieszczenie i numeracja sensorów

Fig. 1. Layout of IR sensors

Sensory umożliwiają pomiar światła odbitego od obiektów otoczenia. Sygnałem wyjściowym sensora jest napięcie zamieniane dalej przez przetwornik AC na liczbę o wartości z zakresu od 0 do 1024. Więcej informacji na temat systemu sensorycznego, jak i samego robota można znaleźć w [6].

2. Opis systemu

Ogólna struktura systemu sterowania przedstawiona została na rys. 2.



Rys. 2. Schemat blokowy systemu sterowania

Fig. 2. Control system diagram

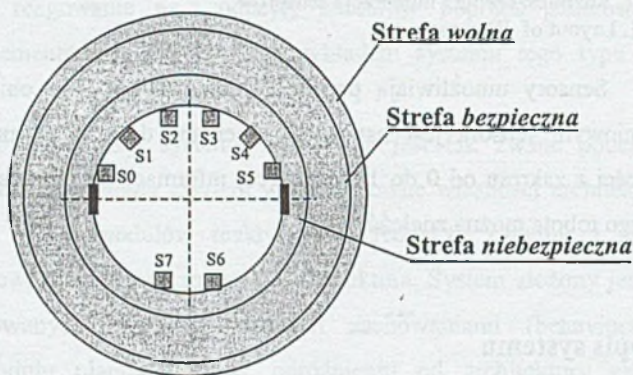
System sterowania o zaproponowanej strukturze umożliwia wykonanie przez robot podstawowego zadania nawigacyjnego, które polega na bezkolizyjnym przejeździe robota od położenia startowego do położenia docelowego.

Dane pochodzące z dalmierzy podczerwonych oraz enkoderów trafiają do czterech modułów sterujących (zachowań), które generują odpowiednie akcje (sterowania prawego i lewego silnika). Ponieważ poszczególne zachowania działają równolegle, dlatego sterowania przez nie generowane mogą okazać się sprzeczne (powodować konflikt). Konieczne staje się

więc użycie dodatkowego modułu koordynującego. W prezentowanym systemie do rozwiązywania konfliktów sterowania zaproponowano użycie arbitrażu priorytetowego.

2.1. Definicje zachowań elementarnych

Przestrzeń wokół robota podzielona została na trzy strefy (rys. 3). Granicom poszczególnych stref odpowiadają progi odczytów dalmierzy, wyznaczone eksperymentalnie. Strefa



Rys. 3. Podział przestrzeni wokół robota
Fig. 3. Division of the space around the robot

wolna (free zone) określa sytuację, w której robot jest w znacznej odległości od obiektów otoczenia. Strefa *bezpieczna* (safe zone) określa odległość robota od przeszkód, przy której rozpoczynany jest manewr omijania. Trzecia strefa – *niebezpieczna* (danger zone) odpowiada niewielkiej odległości robota od przeszkody, uniemożliwiającej wykonanie manewru omijania. Poniżej przedstawiono definicje i opis poszczególnych zachowań.

Zachowanie *JEDŹ PROSTO*:

```

If ( min(s2,s3) < danger_zone )
{
  if (robot_not_stopped)
    robot_stop( priority_high )
  else
    move_backward(priority_high )
}
else
  move_forward( priority_low )

```

Jeśli przeszkoda wykryta została z przodu robota, wewnątrz strefy *niebezpiecznej* robot zatrzymuje się. Jeśli został już zatrzymany – wycofuje się. W przeciwnym wypadku jedzie prosto.

Zachowanie OMIN:

```
If ( (s1 || s2) < safe_zone )
    turn_right ( priority_medium )
```

```
If ( (s3 || s4) < safe_zone )
    turn_left ( priority_medium )
```

```
If ( (s1 || s2) && (s3 || s4) < safe_zone )
    turn ( priority_medium )
```

To zachowanie powoduje obrót robota w kierunku przeciwnym do kierunku, w którym wykryto przeszkodę. W przypadku gdy przeszkoda została wykryta z przodu robota, następuje obrót w prawo bądź w lewo zgodnie z zależnością (1).

$$Turn = \begin{cases} -1 & \text{dla } S_R \geq S_L \\ 1 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

$$S_R = \frac{S_3 + S_4 + S_5}{3} \qquad S_L = \frac{S_0 + S_1 + S_2}{3}$$

$Turn = -1$ odpowiada skrętowni w lewo,
 $Turn = 1$ odpowiada skrętowni w prawo.

gdzie:

S_i ($i = 0, 1, 2, \dots, 5$) - odczyty poszczególnych sensorów

Wartość wykonywanego skreću (w [°]) wyznaczana jest z następującej zależności:

$$T_L = T_{min} \cdot \frac{S_L}{S_z} \qquad T_R = T_{min} \cdot \frac{S_R}{S_z}$$

gdzie:

T_{min} - maksymalna, dopuszczalna wartość skreću w [°].

S_z - wartość proggu strefy bezpiecznej (safe zone).

Zachowania JEDŹ PROSTO i UNIKAJ tworzą wspólnie zachowanie polegające na bezpiecznej eksploracji otoczenia (safe-wandering behavior).

Zachowanie DO CELU:

```
If ( abs(α) > Δ ) && (s1, s2, s3, s4 > free_zone))
```

```
    If (α < 0 )
```

```

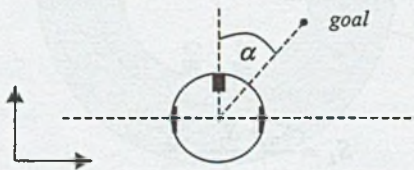
turn_left (angle ,priority_medium )
else
turn_right (angle, priority_medium )

```

gdzie:

angle – pewna stała wartość skreću.

Zachowanie *DO CELU* ma za zadanie naprowadzanie robota na cel. Efektem jego działania jest obrócenie robota w prawo lub w lewo w zależności od wielkości kąta α . Graficzna interpretacja tego kąta przedstawiona została na rys. 4. Wielkość α odzwierciedla różnicę pomiędzy aktualną orientacją robota a orientacją pożądaną. Przez orientację pożądaną rozumiemy orientację wymaganą do osiągnięcia celu przez robota.



Rys. 4. Graficzna interpretacja kąta α

Fig. 4. The graphical interpretation of the α angle

Zachowanie STOP:

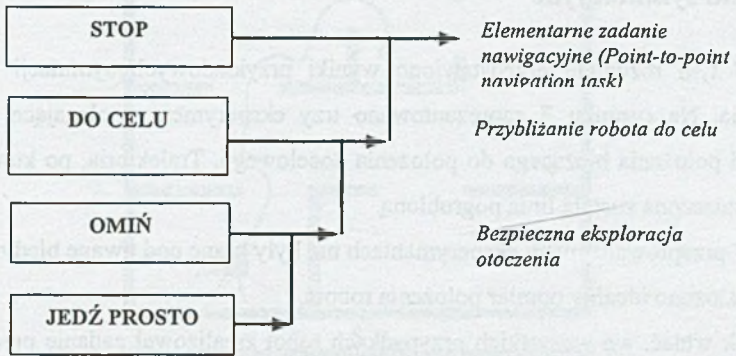
```

If ( distace_to_goal < Δ )
robot_stop

```

Funkcją tego zachowania jest wykrycie stanu, gdy robot osiągnął cel. Jeśli robot znajduje się w odległości mniejszej niż Δ od celu, to następuje jego zatrzymanie.

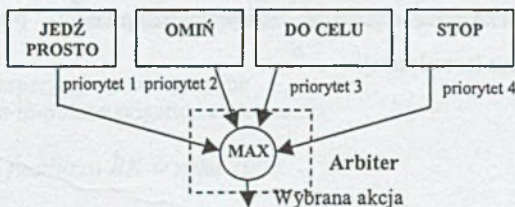
Rysunek 5 przedstawia interakcje pomiędzy elementarnymi zachowaniami. Widać na nim, iż wynikiem połączenia działań zachowań elementarnych jest uzyskanie zachowań o coraz to większym stopniu złożoności.



Rys. 5. Schemat przedstawiający interakcje pomiędzy elementarnymi zachowaniami
 Fig. 5. A diagram showing incremental interaction of basic behaviors

2.2. Koordynacja zachowań

Kluczowym zagadnieniem w syntezie behawioralnego systemu sterowania jest problem koordynacji zachowań [1,5,9]. Poszczególne zachowania pracują równolegle i generują sterowania zgodne z zaimplementowaną w sobie strategią i optymalne względem tej strategii. Jednakże z punktu widzenia problemu sterowania ruchem całego robota, akcje generowane przez poszczególne zachowania są często sprzeczne. Dlatego zachodzi konieczność wyboru odpowiedniej akcji robota, która będzie satysfakcjonująca, a przynajmniej dopuszczalna ze względu na realizację wykonywanego zadania nawigacyjnego. W prezentowanym systemie zaproponowano użycie mechanizmu *arbitrażu priorytetowego*. Mechanizm ten polega na wyborze spośród aktywnych zachowań tego, które ma największy priorytet. Przy czym priorytety poszczególnych zachowań są przydzielone na stałe (rys.6).



Rys. 6. Mechanizm arbitrażu
 Fig. 6. Arbitration mechanism

3. Wyniki symulacyjne

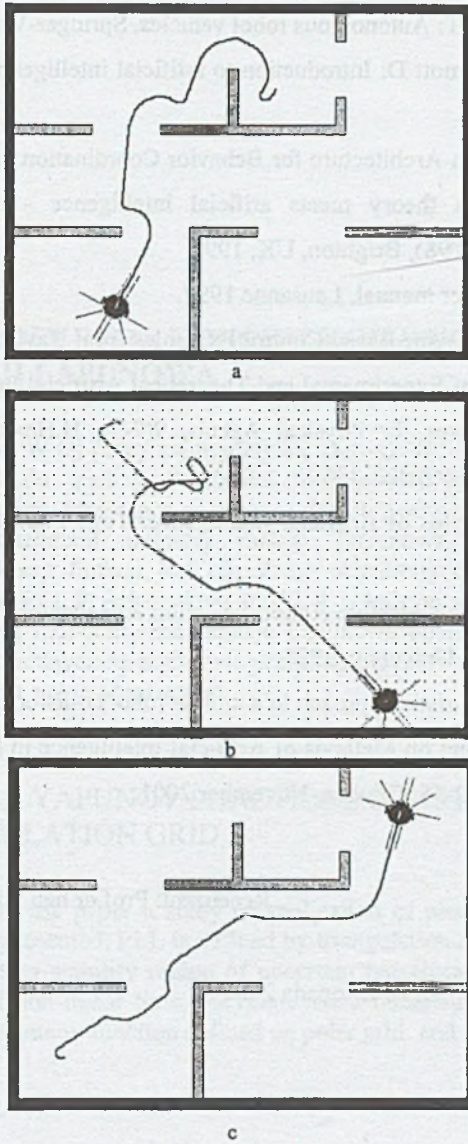
W tym rozdziale przedstawiono wyniki przykładowych symulacji pracy systemu sterowania. Na rysunku 7 zaprezentowano trzy eksperymenty polegające na przejeździe robota od położenia bieżącego do położenia docelowego. Trajektoria, po której poruszał się robot, zaznaczona została linią pogrubioną.

W przeprowadzonych eksperymentach nie były brane pod uwagę błędy odometrii, tym samym założono idealny pomiar położenia robota.

Jak widać, we wszystkich przypadkach robot zrealizował zadanie przejeżdżając bezkolizyjnie do punktu docelowego. Należy podkreślić, iż w eksperymencie przedstawionym na rys.7b wystąpił problem tzw. lokalnego minimum, który został "rozwiązany" przez system.

4. Podsumowanie

W prezentowanej pracy przedstawiono behawioralne podejście do problemu bezkolizyjnego sterowania ruchem robota mobilnego. Zaprezentowano syntezę systemu sterowania umożliwiającą wykonywanie przez robot elementarnych zadań nawigacyjnych polegających na przejeździe robota do zadanego położenia docelowego w dynamicznym środowisku o nieznanym modelu. Przedstawiono wyniki symulacyjne kilku eksperymentów nawigacyjnych. Zaletą proponowanego podejścia jest to, robot może działać na bazie mało dokładnej i niepewnej informacji w środowisku, które ulega dynamicznym zmianom w trakcie pracy robota. Zaproponowany mechanizm koordynacji zachowań działa poprawnie. Należy sobie jednakże zdać sprawę z faktu, iż jest on skuteczny jedynie przy małej liczbie zachowań. Dlatego dalsze kierunki prac będą się skupiać na poszukiwaniu bardziej efektywnego mechanizmu koordynacji.



Rys. 7. Przykładowe eksperymenty nawigacyjne
Fig. 7. Exemplary point-to-point navigation experiments

Praca finansowana z funduszu BK w roku 2002.

LITERATURA

1. Arkin R.C.: Behavior-Based Robotics. MIT Press, Cambridge MA 1998.
2. Breitenberg V., Vehicles: Experiments in synthetic psychology, MIT Press, Cambridge MA 1984.

3. Cox I.J., Wilfong G.T: Autonomous robot vehicles, Springer-Verlag, New York 1990.
4. Charniak E., McDermott D: Introduction to artificial intelligence part 2, Addison-Wesley, Reading MA 1985.
5. Hoff J., Bekey G.: An Architecture for Behavior Coordination Learning. Proceeding of the workshop: Decision theory meets artificial intelligence - qualitative and quantitative approaches (in ECAI'98), Brighton, UK, 1998.
6. K-Team: Khepera user manual, Lausanne 1999.
7. Maja J Mataric: Behavior-Based Control: Examples from Navigation, Learning, and Group Behavior, Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence, special issue on Software Architectures for Physical Agents, 9(2-3), H.Hexmoor, I. Horswill, and D. Kortenkamp, eds., 1997, 323-336
8. Nilson N.J.: Principles of Artificial Intelligence. Toga Publishing Company, Palo Alto, C.A. 1980.
9. Pirjanian P.: Multiple Objective Action Selection & Behavior Fusion Using Voting, Ph.D. Dissertation, Aalborg University 1998.
10. Skrzypczyk K.: Heuristic approach to a mobile robot collision free path planning problem, Proc. The Symposium on Methods of Artificial Intelligence in Mechanics and Mechanical Engineering, pp. 249-55, Gliwice, November 2001.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Krzysztof KOZŁOWSKI

Wpłynęło do Redakcji dnia 20 listopada 2002 r.

Abstract

In this paper we propose the use of the behavior based approach for controlling a collision free movement of mobile robot. Presented control system architecture allows the robot performing simple point-to-point navigation task in completely unknown and dynamic environment. Simulation of three point-to-point experiments was presented. The main advantage of presented approach is that the robot controlled by the system can navigate on the basis of uncertain and inaccurate sensory information. The arbitration mechanism proposed in the paper can be useful when only a few behaviors are used. Therefore our future researches are focused on the behaviors coordination problem.