

Maciej Garbacz*

Planowanie ścieżki dla robota mobilnego na podstawie informacji z czujników odległościowych

1. Wprowadzenie

Autonomiczne roboty mobilne znajdują coraz większe zastosowanie praktyczne nie tylko w przemyśle, ale i w gospodarstwie domowym. O autonomiczności robota decyduje jego zdolność do samodzielnego poruszania się, przy minimalnej ingerencji użytkownika z zewnątrz. Jednym z głównych problemów, przed którymi stają konstruktorzy robotów mobilnych, jest konieczność nauczenia robota poszukiwania ścieżki w otaczającym je środowisku. Jeżeli obszar roboczy jest stały, wówczas można zastosować tzw. metodę globalną. Polega ona na wstępnym zebraniu informacji o obszarze i ustaleniu z góry ścieżki dla robota. Jeżeli jednak obszar jest zmienny, np. występują w nim przeszkody ruchome, to konieczne jest zbieranie informacji na bieżąco (on-line) [3]. Wówczas stosuje się tzw. lokalne metody poszukiwania ścieżki. Jednym z podstawowych źródeł informacji o otoczeniu są czujniki odległościowe. Zastosowanie tych czujników zostanie przybliżone w niniejszym artykule. Szczególna uwaga zostanie zwrócona na robot mobilny Khepera II, stanowiący wyposażenie stanowiska laboratoryjnego w Laboratorium Automatyki, Robotyki i Systemów Fotowoltaicznych Katedry Automatyki AGH.

2. Rodzaje czujników odległościowych

2.1. Czujniki indukcyjne

Wykorzystanie czujników odległościowych to jeden z najbardziej rozpowszechnionych i stosunkowo tani sposób pozyskiwania informacji o otoczeniu. W zależności od cech środowiska otaczającego robota oraz wymaganej dokładności pomiarów stosuje się odpowiedni rodzaj czujnika. Jednymi z wykorzystywanych czujników są czujniki indukcyjne. Bazują one na wykorzystaniu zmiennego pola magnetycznego o wysokiej częstotliwości, które jest wytwarzane za pomocą cewki. Pole to generuje zmienny prąd w elementach znajdujących się w pobliżu. Czujniki indukcyjne cechuje duża wytrzymałość i niezawodność. Ich wadą jest możliwość wykorzystania do wykrywania tylko przeszkód metalowych.

* Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

2.2. Czujniki pojemnościowe

Czujniki te działają w oparciu o zjawisko zmiany pojemności kondensatora. Pojemność jest odwrotnie proporcjonalna do odległości między okładkami kondensatora. W tym rozwiązaniu za jedną okładkę przyjmuję się powierzchnię czołową czujnika, a za drugą wykrywaną przeszkodę. Czujniki te znajdują zastosowanie do wykrywania zarówno materiałów przewodzących, jak i dielektryków.

2.3. Czujniki fotometryczne

Czujniki fotometryczne wykorzystują wiązkę świetlną. Wiązka jest wysyłana przez nadajnik, a następnie odbiornik wykrywa zmianę natężenia światła. Często nadajnik i odbiornik są fizycznie tym samym urządzeniem. Czujniki te wykorzystują wiązki światła widzialnego lub w paśmie podczerwieni. Sensory pracujące w paśmie podczerwieni częściej znajdują zastosowanie ze względu na większą dokładność, wykrywanie przeszkód ze stosunkowo dużych odległości i mały pobór mocy. Wadą czujników fotometrycznych jest wrażliwość na panujące warunki zewnętrzne, jak oświetlenie czy przejrzystość powietrza. Ponadto pomiar zależy od rodzaju materiału, z którego wykonane są przeszkody. Znajdujący się w Laboratorium Robotyki w Katedrze Automatyki robot Khepera II jest wyposażony w osiem rozmieszczonych dookoła niego czujników pracujących w paśmie podczerwieni.

2.4. Czujniki ultradźwiękowe

Czujniki ultradźwiękowe nadają sygnał ultradźwiękowy (o częstotliwości 40÷250 kHz), który odbija się od przeszkody i powraca do odbiornika. Na podstawie pomiaru czasu potrzebnego na powrót sygnału oblicza się odległość od przeszkody. Wykorzystując zjawisko Dopplera możliwe jest zastosowanie tego typu czujników również w zastosowaniu do przeszkód ruchomych. Wadą tych sensorów jest duża wrażliwość na kąt, pod jakim pada fala na powierzchnię przeszkody oraz zależność od materiału, z którego wykonana jest przeszkoda.

2.5. Czujniki dotykowe

Najprostszymi z czujników odległościowych są czujniki dotykowe. Informacji o przeszkodzie dostarczają dopiero w momencie fizycznego zetknięcia się z nią [8]. Ze względu na swoją prostotę znajdują zastosowanie, gdyż w niektórych przypadkach taka informacja okazuje się wystarczająca, np. w przypadku niewielkich prędkości poruszania się robota czy odporności przeszkód na zderzenia.

3. Wykorzystanie czujników w generowaniu trajektorii

3.1. Wykorzystanie algorytmów genetycznych

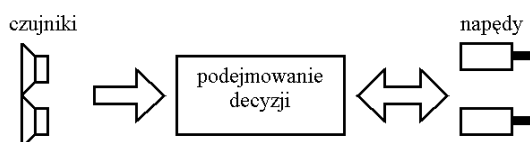
Poniżej przedstawiona zostanie idea poszukiwania ścieżki na przykładzie robota mobilnego Pioneer 2 [9]. Jest to robot napędzany poprzez dwa symetrycznie umieszczone koła po bokach, wyposażony w czujniki ultradźwiękowe dookoła.

Schemat robota przedstawiono na rysunku 1.

Mając do dyspozycji pomiary z czujników rozmieszczonych dookoła robota [4], można stworzyć bazę reguł pozwalającą na generowanie robotowi trzech podstawowych zachowań:

- 1) „osiągnij środek wolnej przestrzeni”,
- 2) „idź do celu”,
- 3) „podążaj przy ścianie”.

Odpowiedni dobór tych elementarnych zachowań pozwala na skuteczne poszukiwanie trajektorii w obszarze z przeszkodami. Członem odpowiedzialnym za podejmowanie decyzji (rys. 3) jest w tym przypadku regulator rozmyty.



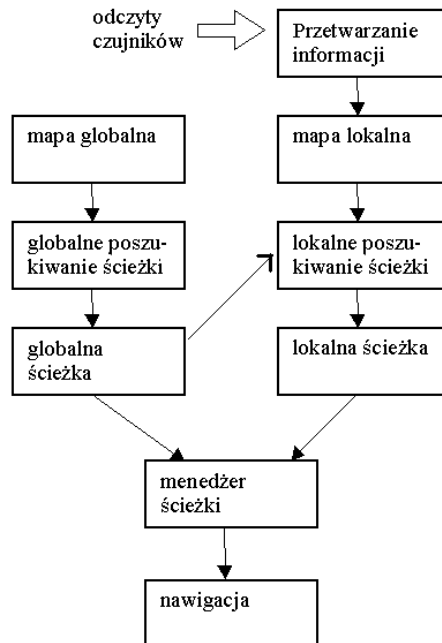
Rys. 3. Ogólny schemat algorytmu poszukującego ścieżkę

W Katedrze Automatyki w ramach pracy magisterskiej [5] zrealizowano prostego robota mobilnego z dwoma czujnikami ultradźwiękowymi umieszczonymi na czole robota. Sterowanie odbywało się właśnie w oparciu o regulator rozmyty. Jednakże liczba dwóch czujników okazała się niewystarczająca do zadowalającego poruszania się robota. Przy dojeżdżaniu do przeszkody pod kątem prostym (lub zbliżonym do niego), zachowanie się robota nie budziło zastrzeżeń. Natomiast przy dojeżdżaniu do przeszkody pod innymi kątami, odczuwalny był brak czujników bocznych. Okazuje się, że do właściwego funkcjonowania algorytmów sterujących konieczna jest pewna minimalna, ilość danych o otoczeniu, której nie jest w stanie zagwarantować zbyt mała liczba czujników.

3.3. Problem pojawiania się nowych przeszkód

Problem poszukiwania trajektorii okazuje się bardziej złożony, w przypadku możliwości pojawiania się nowych przeszkód już po rozpoczęciu ruchu robota [2]; zachodzi wtedy konieczność zaimplementowania procedury omijania, którą się włącza w momencie wykrycia nowej przeszkody. Trajektorię z góry określoną dla niezmiennego obszaru roboczego nazywa się globalną. Jeżeli natomiast otoczenie robota ulega zmianom, wówczas konieczne jest korygowanie posiadanych informacji w czasie rzeczywistym. Wyznaczaną w takim przypadku trajektorię on-line nazywa się lokalną. Na rysunku 4 przedstawiono schemat algorytmu o przełączalnej strukturze. W momencie kiedy ruch po globalnie zaplanowanej trajektorii zakończyłby się niepowodzeniem, wówczas organ decyzyjny (tzw. menedżer ścieżki) przełącza na lokalne planowanie. Możliwe jest również skorygowanie ścieżki robota, jeżeli zaplanowana ścieżka przebiega zbyt blisko przeszkody i istnieje (choćby niewielkie) ryzyko kolizji. Dla robotów mobilnych wprowadza się pojęcie logicznego czujnika (*logical sensor*) [6]. Oznacza ono zespół fizycznego czujnika pobierającego informacje o otoczeniu wraz z zaimplementowanymi procedurami przetwarzania tych informacji oraz

bazą danych już zebranych o środowisku. Sygnały dostarczane przez takie czujniki logiczne są bardziej przydatne w procesach decyzyjnych i nie obciążają nadrzędnej jednostki niepotrzebnymi obliczeniami.



Rys. 4. Algorytm uwzględniający możliwość pojawienia się nowych przeszkód

3.4. Robot Khepera II

Jednym z ciekawszych stanowisk w Laboratorium Automatyki, Robotyki i Systemów Fotowoltaicznych Katedry Automatyki AGH jest zespół robota mobilnego Khepera II połączonego kablem z komputerem PC. Kabel ten zapewnia komunikację z komputerem poprzez port szeregowy oraz doprowadza zasilanie do robota. Wykorzystując dostarczoną przez producenta robota bibliotekę, programy sterujące ruchem robota tworzy się w środowisku Matlab. Stanowisko służy do realizacji prostych ćwiczeń z przedmiotu „Podstawy robotyki”, podczas których studenci implementują podstawowe algorytmy sterowania robotem. Robot wykorzystywany jest również przez dyplomantów, realizujących zaawansowane projekty w ramach prac magisterskich. Prowadzone eksperymenty nasuwają kilka wniosków. Pomiar uzyskany z czujników pracujących w paśmie podczerwieni należy traktować w sposób orientacyjny i względny; zależne są one w dużej mierze m.in. od oświetlenia panującego w sali. Nie można robotowi zadawać zbyt szybkich prędkości poruszania się, gdyż przeszkody są dostrzegane ze stosunkowo bliskiej odległości. Z tego powodu sprawdza się dla tego robota opisana wcześniej procedura „podążaj przy ścianie”. Natomiast zadanie: „osiągnij środek przestrzeni” jest praktycznie niewykonalne przy większych

odległościach od ścian ograniczających obszar roboczy. „Przód” robota jest wyposażony w dostateczną liczbę czujników i umożliwia pozytywną reakcję w przypadku znalezienia się robota w przestrzeni typu „ślepa uliczka”. Natomiast dwa czujniki umieszczone „z tyłu” robota są w takich sytuacjach niewystarczającym źródłem informacji. Wówczas można zastosować obrót robota o 180° , co w jego przypadku nie następuje z trudności ze względu na symetrycznie rozmieszczone kółka napędzające. Przy tego typu zadaniach (jak obrót o określony kąt), wygodnie jest posłużyć się pomocniczymi pomiarami z enkoderów, w które są wyposażone obydwie kółka napędzające. Reasumując, robot Khepera sprawdza się jako narzędzie do testowania algorytmów poszukiwania ścieżki z wykorzystaniem czujników odległościowych, choć należy brać pod uwagę niedoskonałość zarówno czujników, jak i zespołów napędowych.

4. Zastosowanie robotów mobilnych

Roboty mobilne znajdują coraz szersze zastosowanie nie tylko w przemyśle, ale również zaczynają odgrywać rolę w gospodarstwach domowych. Przede wszystkim stosuje się je tam, gdzie narażone jest życie człowieka – a więc do poszukiwania i rozbrajania ładunków wybuchowych na pokładach samolotów i pociągów, penetracji terenów niebezpiecznych. Coraz powszechniej stosuje się je do celów transportowych w ciężkich warunkach, czyli w hałach o dużym zapyleniu, natężeniu hałasu, przy podnoszeniu ciężkich ładunków. Nabierają również znaczenia autonomiczne odkurzacze, samodzielnie poruszające się po pomieszczeniach – szczególnie w pomieszczeniach biurowych o dużych powierzchniach. W niedalekiej przyszłości przewiduje się szybki rozwój inteligentnych robotów kroczących, służących pomocą ludziom niepełnosprawnym. Roboty takie uwolniłyby te osoby od konieczności obecności drugiego człowieka, czyniąc je tym samym bardziej samodzielnymi.

5. Podsumowanie

W niniejszej pracy przedstawiono problem poszukiwania ścieżki dla robotów mobilnych w oparciu o czujniki odległości. W pierwszej części wymieniono najczęściej stosowane czujniki i scharakteryzowano poszczególne ich rodzaje. W dalszej części przybliżono wykorzystanie czujników w praktycznych aplikacjach. Są to oczywiście tylko przykładowe zastosowania. Oprócz algorytmów genetycznych i logiki rozmytej na szczególną uwagę zasługuje wykorzystanie sieci neuronowych. Krótko przedstawiono stanowisko laboratoryjne Katedry Automatyki AGH. Planowana jest rozbudowa tego stanowiska, umożliwiająca m.in. jazdę dwóch robotów we wspólnym obszarze roboczym. W końcowej części pracy wspomniano również o praktycznym wykorzystaniu robotyki mobilnej w przemyśle i w życiu codziennym.

Literatura

- [1] Bartyś M.: *Energooszczędny układ sterowania napędu miniroboty mobilnej*. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 10, 2001, 12–15
- [2] Dieguez A.R., Sanz R., Lopez J.: *Deliberative On-Line Path Planning for Autonomous Mobile Robots*. *Journal of Intelligent and Robotic Systems* 37, 2003, 1–19

- [3] Garbacz M.: *Algorytmy wyznaczania trajektorii dla robotów mobilnych*. V Ogólnopolskie Warsztaty Doktoranckie OWD'2003 – Itebna-Zaolzie, 18–21 października 2003
- [4] Hendzel Z., Burghardt A.: *Rozmyte sterowanie odruchowe elementarnymi zachowaniami mobilnego robota*. *Pomiary Automatyka Kontrola*, 11, 2004, 23–25
- [5] Jarzyna A., Strzelczyk M.: *Sterowanie mobilnym robotem za pomocą regulatora rozmytego przy użyciu pakietu LabView*. Kraków 2002 (praca magisterska)
- [6] Kasiński A., Skrzypczyński P.: *Perception network for the team of indoor mobile robots: concept, architecture, implementation*. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 14, 2001, 125–137
- [7] Odagiri R. *et al.*: *Analysis of the Scenery Perceived by a Real Mobile Robot Khepera*. ICES'98, LNCS 1478, 295–302
- [8] Ulatowski W., Masłowski A.: *Pojazdy sterowane automatycznie*. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 10, 2003, 28–31
- [9] Watabe H., Hirooka Ch., Kawaoka T.: *Intelligent Motion Generator for Mobile Robot by Automatic Constructed Action Knowledge-Base Using GA*. KES 2003, LNAI 2773, 271–278
- [10] Youngjoon Han *et al.*: *Tracking of a moving object using ultrasonic sensors based on a virtual ultrasonic image*. *Robotics and Autonomous Systems*, 36, 2001, 11–19

