

Krzysztof JASKOT
Politechnika Śląska

MAPA OTOCZENIA JAKO PODSTAWA NAWIGACJI AUTONOMICZNEGO ROBOTA MOBILNEGO (KOMUNIKAT)

Streszczenie. W artykule przedstawiono propozycję wykorzystania dalmierzy ultradźwiękowych i pracujących w podczerwieni (IR) jako urządzeń pomiarowych zainstalowanych na robocie mobilnym. Omówiono ich budowę, sposób kalibracji, sposób podłączenia do przetworników A/C. Zaproponowano też algorytm eksploracji nieznanego środowiska, przedstawiono praktyczną realizację budowy mapy otoczenia z użyciem rzeczywistego robota mobilnego oraz podano wyniki badań symulacyjnych.

ENVIRONMENT MAP AS BASIS OF THE AUTONOMOUS MOBILE ROBOT NAVIGATION

Summary. The paper presents an application of ultrasonic and IR (infrared) rangefinders as measuring instruments installed on the mobile robot. The construction of rangefinders, a method of calibration and their connection to A/D are described. An algorithm of unknown environment exploration is proposed and practical realizations of building environment map using real robot are presented. Results of computer simulations are also shown.

1. Wprowadzenie

Autonomiczny robot mobilny z założenia jest pojazdem, który powinien poruszać się w nieznanym i dynamicznie zmieniającym się środowisku bez jakiegokolwiek ingerencji ze strony człowieka. Kluczem do autonomiczności jest nawigacja. Informacja o świecie otaczającym robota musi być na tyle dokładna, aby na jej podstawie możliwe było generowanie bezkolizyjnej ścieżki, po której będzie się on poruszał [1]. Jedną z metod pozyskiwania informacji o środowisku otaczającym robota mobilnego jest zastosowanie różnego rodzaju dalmierzy w celu budowania mapy otoczenia [2,6,7]. Przez mapę otoczenia będziemy rozumieć graficzną reprezentację pomiarów dokonanych przy użyciu dalmierza.

W przypadku korzystania z małych robotów mobilnych jako urządzeń inspekcyjnych w trudno dostępnych miejscach, takich jak: kanały wentylacyjne, rury, zawałone tunele [3] poważnym ograniczeniem jest wielkość zastosowanego dalmierza oraz jego zapotrzebowanie na moc obliczeniową procesora i zasilanie. Postęp w elektronice, który obserwujemy przez ostatnie lata, oddaje nam w ręce bardzo małe, zintegrowane urządzenia pomiarowe, które z powodzeniem mogą być wykorzystywane w systemach o ograniczonych rozmiarach i mocach obliczeniowych.

Informacja pozyskana z czujnika powinna być dostępna w postaci umożliwiającej dalszą obróbkę w samej jednostce centralnej robota, tak aby było możliwe jej dalsze wykorzystanie podczas konstruowania mapy otoczenia na potrzeby lokalizacyjne i nawigacyjne oraz generowania bezkolizyjnej ścieżki, po której poruszać się będzie robot [4].

Niniejszy artykuł jest między innymi próbą odpowiedzi na pytanie, czy zastosowanie tanich i bardzo małych dalmierzy da rezultaty zbliżone jak w przypadku stosowania drogich i skomplikowanych urządzeń.

2. Dalmierze

Podstawową własnością autonomicznego robota mobilnego jest możliwość samodzielnego poruszania się w nieznanym dynamicznym otoczeniu. Wykonanie tego zadania wymaga posiadania przez robot informacji o otaczającym go świecie. Informację tę można otrzymać wyposażając robot w odpowiednie układy sensoryczne. Do konstruowania map otoczenia wykorzystano dalmierze ultradźwiękowy i pracujący w podczerwieni. Wybór ich nie był przypadkowy - oba charakteryzują się niską ceną i niewielkimi rozmiarami. Powstała zatem możliwość bezpośredniego zainstalowania ich na małym robocie laboratoryjnym, w naszym przypadku był to robot Khepera [8].

2.1. Ultradźwiękowy czujnik odległości

Budowa tego czujnika jest niezwykle prosta. Głównymi elementami są nadajnik i odbiornik fal ultradźwiękowych oraz kilka elementów dyskretnych. Dalmierz pracuje w zakresie od 10-80 cm. Jednak już pierwsze próby z pomiarem odległości za pomocą tego czujnika wykazały jego ogromną zależność od kąta padania fali dźwiękowej na przeszkodę. Czujnik ten sprawdzał się idealnie w przypadku przeszkód prostopadłych do kierunku

rozchodzenia się fali dźwiękowej. Problem ten oraz propozycja jego rozwiązania zostały zaprezentowane w [5].

2.2. Dalmierz pracujący w podczerwieni

Dalmierz wykonany jest w postaci zintegrowanej, tzn. zawiera on nadajnik i odbiornik podczerwieni razem z układem optycznym oraz cały układ elektroniczny. Całość zamknięta jest w obudowie o wymiarach 13.5x37x13mm. Wygląd dalmierza zainstalowanego na robocie przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Robot Khepera z dalmierzem IR

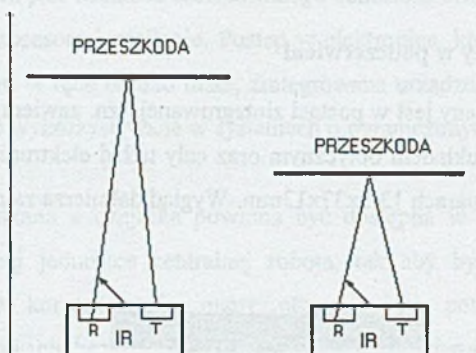
Fig. 1. Khepera robot with IR rangefinder

2.2.1. Zasada działania dalmierza

Układ może być zasilany napięciem od 4.5V do 5.5V. Czujnik emituje falę elektromagnetyczną w paśmie podczerwieni i mierzy falę odbitą od przeszkody - rys. 2. Pomiar odległości dokonywany jest za pomocą metody triangulacji. Światło odbite od przeszkody wraca do detektora i tworzy trójkąt między punktem odbicia, nadajnikiem (T) a odbiornikiem (R). Kąt w trójkącie jest zależny od odległości od przeszkody. Światło odbite jest skupiane na soczewce odbiornika (R) i dalej precyzyjnie kierowane na linijkę CCD. Układ elektroniczny znajdujący się wewnątrz czujnika dokonuje niezbędnych pomiarów i jako sygnał wyjściowy podaje napięcie w zakresie od 0.4V do 2.5V.

Napięcie wyjściowe z czujnika jest podawane na wejście 10-bitowego przetwornika analogowo-cyfrowego, będącego integralną częścią mikrokontrolera Motorola 68331,

zainstalowanego na robocie Khepera, którego dokładny opis można znaleźć w [6]. Zakres pomiarowy przetwornika A/C wynosi 0-4.096V, przy czym dla napięcia 4.096V wartość



Rys. 2. Zasada działania dalmierza

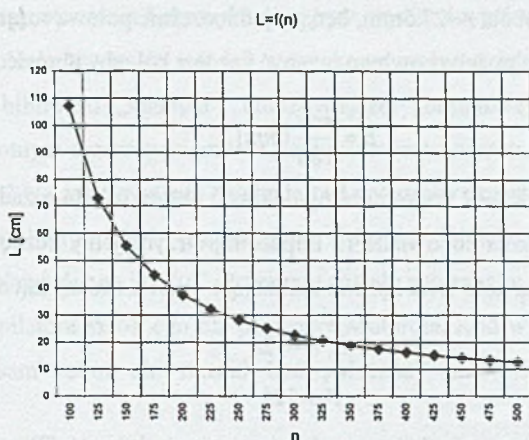
Fig. 2. How IR rangefinder work

cyfrowego sygnału podawanego przez przetwornik wynosi 1024. Zatem dla całego zakresu pomiarowego możemy z dokładnością do jednego bitu przedstawić zależność wyjścia przetwornika A/C n w funkcji napięcia wejściowego V_o :

$$n = \frac{1024}{4.096} V_o \quad (1)$$

$$L = \frac{1000}{0.1737n - 8,05} [cm] \quad (2)$$

W celu otrzymania informacji o odległości L od przeszkody na podstawie sygnału wyjściowego przetwornika A/C zdjęto charakterystykę dalmierza w 15 punktach i aproksymowano ją funkcją hiperboliczną. Funkcja ta po uwzględnieniu konwersji A/C danej wzorem (1) daje zależność $n=f(L)$. Jej odwrotność dana wzorem (2) stanowi poszukiwaną zależność mierzonej odległości od wejścia przetwornika A/C. Zależność (2) została graficznie przedstawiona na rys. 3.



Rys. 3. Odległość od przeszkody

Fig. 3. Distance to reflected object

3. Budowa mapy otoczenia

Budowa mapy otoczenia polega na dokonywaniu pomiarów odległości od przeszkód znajdujących się w otoczeniu robota co pewien stały kąt α . Wykorzystuje się w tym celu głowice skanujące zawierające dalmierz oraz posiadające zdolność obrotu o 360° . W rozważonym przypadku dalmierz zamontowano bezpośrednio na robocie, a proces skanowania odbywał się poprzez obrót całego robota wokół jego osi. Celem była próba odpowiedzi na pytanie, czy stosując takie rozwiązanie możemy otrzymać wyniki, które byłyby porównywalne z tymi, które otrzymuje się przy wykorzystaniu profesjonalnych głowic skanujących.

Korzystając z konfiguracji robot + dalmierz należy wyznaczyć parametry pozwalające dokonać skanowania obszaru wokół robota. O dokładności odwzorowania otoczenia w dużej mierze decyduje wartość kąta, o jaki będzie dokonywany pomiar. Należy mieć tutaj na uwadze rozsądne wyważenie między liczbą pomiarów a czasem budowania mapy otoczenia. I tak dla małej liczby pomiarów czas skanowania jest krótki, ale dokładność odwzorowania otoczenia jest mała, natomiast dla dużej liczby pomiarów czas ten wzrasta. Po dokonaniu kilkunastu prób z różną liczbą pomiarów przypadających na obrót robota wybrano liczbę pomiarów 64 jako rozsądny kompromis. Kąt obrotu między kolejnymi pomiarami wynosi wtedy $\alpha=5.625^{\circ}$.

Znając promień robota $r=27.5\text{mm}$, będący jednocześnie połową rozstawu kół, oraz kąt α możemy wyznaczyć drogę, jaką powinno przebyć każde z kół, aby obrócić robot o kąt α :

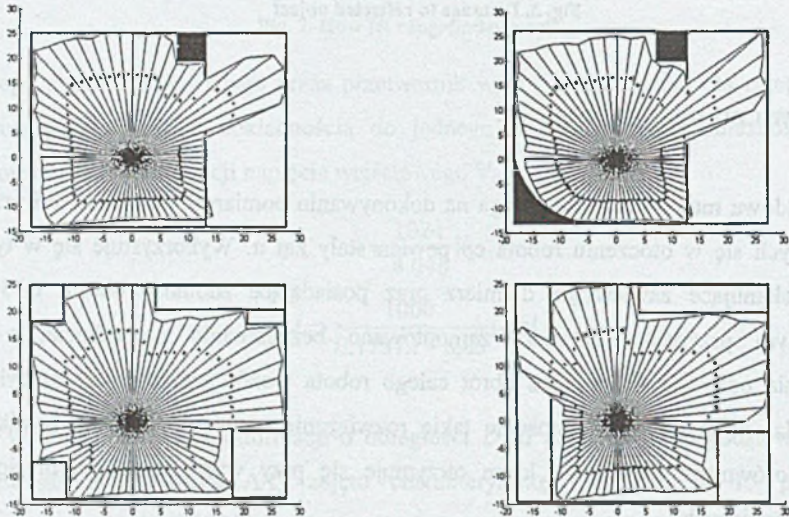
$$b = \frac{\pi r \alpha}{180} [\text{mm}], \quad (3)$$

a mając obliczoną wartość $b=2.7\text{mm}$ możemy dokonać obrotu robota o zadany kąt. Wiedząc że przesunięcie liniowe koła odpowiada 12 impulsom, otrzymujemy liczbę impulsów L_i i P_i podanych odpowiednio na koło lewe i prawe realizujące obrót o zadany kąt α .

$$L_i = -12b \quad (4)$$

$$P_i = 12b \quad (5)$$

Przykłady map otoczenia, które uzyskano stosując zależność (2) oraz sterowania (4) i (5), zostały przedstawione na rys. 4.



Rys. 4. Przykładowe mapy otoczenia

Fig. 4. Example of environment maps

Analizując powyższe przykłady można stwierdzić, że otrzymane mapy w dobrym stopniu przedstawiają otoczenie robota. Otoczenie zbudowane było z różnego rodzaju materiałów, między innymi z kartonu, drewna i różnokolorowego tworzywa sztucznego. Widoczne niedokładności powodowane są najprawdopodobniej przez fakt, że wiązka IR nie była spójna, jak ma to miejsce w przypadku dalmierzy laserowych.

Czas potrzebny na dokonanie pełnego skanowania zależny był od wykorzystanej platformy programistycznej; porównanie wyników zostało przedstawione w tab.1. Pierwsze

próby budowy mapy otoczenia były wykonane przy użyciu skryptów napisanych w Matlabie. Wadą języków interpretowanych jest ich stosunkowo wolne działanie. W środowisku tym korzystaliśmy z biblioteki „kmatlab”, umożliwiającej komunikację i sterowanie ruchami robota. Innym istotnym ograniczeniem wynikającym z zastosowania biblioteki „kmatlab” jest to, że robot musiał w czasie swojego działania być połączony przewodem komunikacyjnym z komputerem, na którym był uruchomiony Matlab. Dlatego naturalne wydało się skonwertowanie skryptów na język C. Programy zostały napisane w języku C i skompilowane przy użyciu kompilatora skrośnego dla procesora Motorola. Kod wynikowy działał znacznie efektywniej, a sam robot nie musiał być połączony przewodem komunikacyjnym z komputerem.

Tabela 1

Porównanie czasów skanowania

	MATLAB	C
Bez optymalizacji kodu	≈ 2 min.	≈ 1 min.
Z optymalizacją kodu	1,27 min.	30 sek.

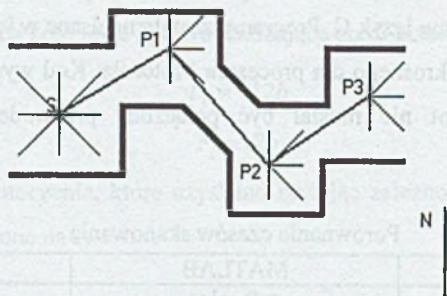
4. Planowanie bezkolizyjnej ścieżki

Przy planowaniu bezkolizyjnej ścieżki, po której będzie poruszał się robot, można wykorzystać jedną z wielu metod szeroko prezentowanych w literaturze [1,2]. Najczęściej do planowania ścieżki wykorzystuje się częściową znajomość otoczenia robota, gdzie podaje się punkt startowy i końcowy, a zadaniem robota jest przebycie tej drogi [4].

W przypadku braku dokładnej informacji o wewnętrznej strukturze, np. zawałonego tunelu, nie jesteśmy w stanie podać punktu docelowego. W takim przypadku dobrze jest mieć możliwość postawienia celu w inny sposób. W proponowanym rozwiązaniu cel stawiany robotowi określamy przez podanie kierunku, w którym ma się on poruszać, np. wschód.

Przy wyznaczaniu bezkolizyjnej trajektorii oprócz mapy otoczenia skorzystano z naturalnego punktu nawigacyjnego, jakim jest pole magnetyczne ziemi. W tym celu wykorzystano możliwości układu scalonego, zawierającego opornik półprzewodnikowy o oporności zależnej od przyłożonego pola magnetycznego. Zmiana kierunku poruszania się robota powoduje zmiany napięcia na wyjściu układu, dzięki czemu jest możliwe dokładne określenie kierunków geograficznych. Zadaniem robota jest podążanie w wybranym kierunku przy wykorzystaniu informacji pozyskanej z mapy otoczenia, co zostało przedstawione na rys.5. Działanie algorytmu polega na zbudowaniu całej mapy otoczenia w punkcie startowym

(S), znalezieniu największej odległości zgodnej z zadaniem kierunkiem (P1) i przemieszczenie tam robota, następnie zbudowanie połowy mapy otoczenia i wyznaczenie kolejnej największej odległości (P2); proces ten powtarzany jest aż do osiągnięcia celu, jakim może być wydostanie się z tunelu (P3).



Rys. 5. Przykład bezkolizyjnej ścieżki

Fig. 5. Example of free path

5. Podsumowanie

W pracy przedstawiono zastosowanie dalmierzy IR na potrzeby nawigacji autonomicznego robota mobilnego. Opisano budowę i zasadę działania dalmierza oraz pokazano jego zastosowanie do pozyskiwania map otoczenia z wykorzystaniem robota mobilnego Khepera. Zaproponowano także algorytm eksploracji nieznanego środowiska z wykorzystaniem lokalnych map i pola magnetycznego ziemi.

Prezentowane wyniki są pierwszym etapem prac związanych z budową i zastosowaniem map otoczenia w nawigacji autonomicznego robota poruszającego się w nieznanym i dynamicznie zmieniającym się środowisku, jakim jest otoczenie człowieka.

Kierunki dalszych prac będą związane z rozbudową możliwości algorytmu o eksplorację otoczenia w dowolnym kierunku geograficznym oraz zastosowaniem grupy mini-robotów w konstruowaniu kompleksowej mapy otoczenia.

LITERATURA

1. Cox I. J., Wilfong G. T.: *Autonomous Robot Vehicles*, Springer-Verlag, 1990.
2. Borenstein J., Everett H. R., Feng L.: „Where am I?” *Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning*, Technical Report, University of Michigan, 1996.
3. Grabowski R., Navarro-Serment Luis E., Paredis Christian J. J., Khosla K.: *Heterogeneous Teams of Modular Robots for Mapping and Exploration*, Technical Report, The Robotics Institute, and Department of Electrical and Computer Engineering Carnegie Mellon University.
4. Skrzypczyk K.: *Heuristic approach to a mobile robot collision free path planning problem*, AI-MECH, 2001, pp 249-254.
5. Yi Z., Khing H. Y., Seng C. C., Wei Z. X.: *Evidence method in ultrasonic sensor fusion for mobile robots*, Proc. IASTED International Conference MODELING, IDENTIFICATION AND CONTROL, 2000, pp 7-10.
6. Skrzypczyński P., Woźniak A.: *Geometryczny model otoczenia dla celów nawigacji robota mobilnego*, Zeszyty Naukowe Polit. Śl. z. 115, Gliwice 1994, s 379-390.
7. Skrzypczyński P.: *Budowa geometrycznych map otoczenia do celów nawigacji autonomicznego robota mobilnego*. Rozprawa doktorska, Poznań 1997.
8. Khepera User Manual, Lausanne, 1999.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Krzysztof Kozłowski

Abstract

The paper presents an application of ultrasonic and IR (infrared) rangefinders as measuring instruments installed on the mobile robot. The construction of rangefinders, a method of calibration and their connection to A/D are described. An algorithm of unknown environment exploration based on an environment map and magnetic fields of earth are also presented. The algorithm could be applied for a model of holonomic vehicle, which sensory system consists of IR rangefinders. Results of computer simulations and experiment are also presented in the paper.

Preliminary results of work on full autonomous mobile robot that can operate in human environment are described.