

POZYCJONOWANIE I NADAŻANIE MINIROBOTA MOBILNEGO M.R.K

MARIUSZ GIERGIEL, PIOTR MAŁKA

*Katedra Robotyki i Mechatroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza
e-mail: giergiel@agh.edu.pl, malka@agh.edu.pl*

Streszczenie. W artykule przedstawiono zagadnienia związane z pozycjonowaniem i ruchem nadażnym kołowych minirobotów mobilnych oraz weryfikację eksperymentalną z wykorzystaniem zbudowanego w Katedrze Robotyki i Mechatroniki AGH minirobotu kołowego. Przedstawiono sposób pozycjonowania minirobotu metodami analitycznymi jak również metodami sztucznej inteligencji. Dokonano analizy metod nadażnych wraz z weryfikacją on-line. Rezultatem przeprowadzonych badań było opracowanie najlepszej i najszybszej metody sterowania w czasie rzeczywistym (on-line) minirobotu w nieznanym przestrzeni roboczej. W ramach przeprowadzonych badań powstał także system wizualizacyjno-sterujący zastosowany do sterowania i pozycjonowania minirobotu. Ciągła analiza i weryfikacja toru jazdy robota umożliwiła precyzyjne i dokładne osiąganie zadanych trajektorii i celów.

1. WSTĘP

Robotyka, a w szczególności robotyka mobilna, stanowi współcześnie wielkie wyzwanie dla wielu naukowców, projektantów i użytkowników, stąd też w Katedrze Robotyki i Mechatroniki AGH stała się przedmiotem rozważań i prac badawczych. Od paru już lat poszerzany jest zakres wiedzy na ten temat, co zaowocowało wieloma publikacjami [1,3,6,8] jak również zrealizowanymi projektami badawczymi. Prace katedry koncentrują się w szczególności na mechatronicznym podejściu do projektowania tego typu konstrukcji oraz na wykorzystaniu przy budowie robotów metod sztucznej inteligencji.

Istotą niniejszej pracy jest wykorzystanie nowoczesnych metod analizy matematycznej do modelowania układów nieliniowych [1,2,3] oraz wykorzystanie metod sztucznej inteligencji (sieci neuronowych oraz algorytmów rozmytych) do realizacji zagadnienia pozycjonowania i nadażania *m.r.k.* Do osiągnięcia założonych celów wykorzystany został minirobot kołowy zbudowany według autorskiej konstrukcji [3,4,5,6,7,8] w ramach projektu 4T07A00830 „Pozycjonowanie i nadażanie minirobotu kołowego”. W trakcie tej pracy powstał także system wizualizacyjno-sterujący, który pozwolił na łatwe i efektywne sterowanie robotem.

2. MECHATRONICZNY PROJEKT I BUDOWA M.R.K

W celu przeprowadzenia pełnej analizy omawianych zagadnień oraz przedstawienia ich nie tylko poprzez badania symulacyjne wykonane na modelach matematycznych, ale również przeprowadzenie badań na układach rzeczywistych zbudowano konstrukcję minirobota kołowego *m.r.k.* Jest konstrukcją mechatroniczną, przeznaczoną do celów laboratoryjno-badawczych [3,4,5,6]. Analizując własności jezdne oraz autonomiczność programowania, możliwe będzie bliższe poznanie zachowania się mobilnych minirobotów w przestrzeni roboczej, a dzięki zamontowanym sensorom również poznanie zachowania w terenie nieznanym, np. penetracja nieznanymi pomieszczeń, lokalizacja uszkodzeń w węzłach wodno-ściekowych itp. Zbudowany model jest jednym z wielu przykładów konstrukcji minirobotów mobilnych.

Założenia przyjęte przy mechatronicznym projektowaniu i konstruowaniu *m.r.k* były takie, aby powstała konstrukcja była elastyczna oraz modułowa, umożliwiającą szybką zmianę konfiguracji, liczby sensorów oraz dodawania nowych podzespołów wykonawczych. W konstrukcji wykorzystano sterownik PLC firmy *GE Fanuc* serii UAL004. Dodatkowo do sterowania zastosowano system wizualizacji odwzorowujący wszystkie parametry ruchu w trybie on-line oraz zachowania się minirobota w nieznanym terenie roboczej. Do wizualizacji wykorzystano program typu *SCADA - InTouch* firmy *Wonderware* z dodatkowymi modułami komunikacji. System sterowania wykorzystuje jednostkę centralną firmy *GE Fanuc*, natomiast komunikacja odbywa się poprzez sieć bezprzewodową – radiomodemy firmy *SATEL*.

2.1. Konstrukcja oraz przeznaczenie m.r.k

M.r.k przeznaczony jest przede wszystkim do celów badawczych i dydaktycznych. Do jego budowy wykorzystano elementy pozwalające zapewnić uniwersalność modelu, jak również dające możliwości rozbudowy i zmiany konfiguracji. Minirobot kołowy wzorowany był na istniejących rozwiązaniach robotów, co przedstawia rys. 1



Rys 1. Minirobot mobilny m.r.k. a) mobilny robot PIONIEER 2DX, b) mobilny robot PATROLBOT, c) mobilny minirobot m.r.k.

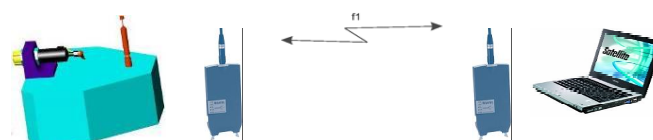
2.2. Budowa, układy sterujące oraz zasada działania

Minirobot kołowy zbudowany jest z trzech zależnych od siebie elementów, takich jak część mechaniczna (3 koła modelarskie oraz korpus z tworzywa sztucznego), sterująca (sterownik PLC firmy – *GE Fanuc* UAL004 [3,5,6,10], dwa silniki prądu stałego 12V firmy *MAXON A-max 16* z zabudowanym enkoderem o rozdzielczości 500 imp/obr) oraz sensoryczna (podczerwienny czujnik odległości firmy *WENGLOR SENSORIC UF55MG3*, kamera wraz z bezprzewodowym nadajnikiem i odbiornikiem wizji i fonii *AV-Video Receiver*, ultradźwiękowe czujniki zbliżeniowe, 4 czujniki zderzakowe). Wszystkie wykorzystane moduły m.r.k. przedstawione zostały na rys. 2.



Rys 2. Sensory wykorzystane do budowy m.r.k

Jednym z ważniejszych elementów zastosowanych do budowy robota oraz systemu sterującego jest platforma pośrednicząca w procesie komunikacji. W tym wypadku do realizacji bezprzewodowego systemu zastosowano radiomodemy programowalne SATELLINE-1870 firmy SATEL. Radiomodemy te przeznaczone są do transmisji danych w trybie half-duplex (przesyłanie danych z szybkim przełączaniem kierunku). Dodatkowo są w pełni przezroczyste dla stosowanego protokołu transmisji, dzięki czemu można je zastosować do połączenia wszelkich urządzeń komunikujących się za pośrednictwem łączy szeregowych takich jak zastosowany sterownik oraz system wizualizacji. Sposób połączenia m.r.k z wykorzystaniem radiomodemów przedstawia rys. 3.

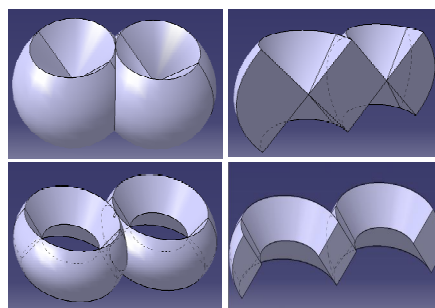


Rys 3. Schemat połączenia robota z PC za pośrednictwem radiomodemów

2.3. Zasięg oraz możliwości jezdne minirobota

Robot kołowy jest urządzeniem laboratoryjnym. Jednym z zadań badawczych z nim związanych były prace prowadzone nad maksymalizacją zasięgu jezdnego. Aktualnie jedynym ograniczeniem jest zasięg radiomodemu oraz systemu do transmisji audiowizualnej (do 100 metrów - obszar otwarty, 30 metrów – obszar zamknięty) [3,5,10]. Zamiarem konstruktorów jest zastosowanie systemów GPS, UMTS pozwalających na znaczne zwiększenie możliwości nawigacji, lokalizacji i sterowania tego typu urządzeniami.

Zastosowane napędy (silniki firmy MAXON) umożliwiają podjazd na wzniesienie o kącie nachylenia do 40°.



Rys. 4. Przestrzeń robocza m.r.k

Na rys. 4 zilustrowano zakres ruchu (przestrzeń robocza) podczas jazdy po łuku w pełnym zakresie, tzn. z uwzględnieniem kąta nachylenia zjazdu i podjazdu na wzniesienie.

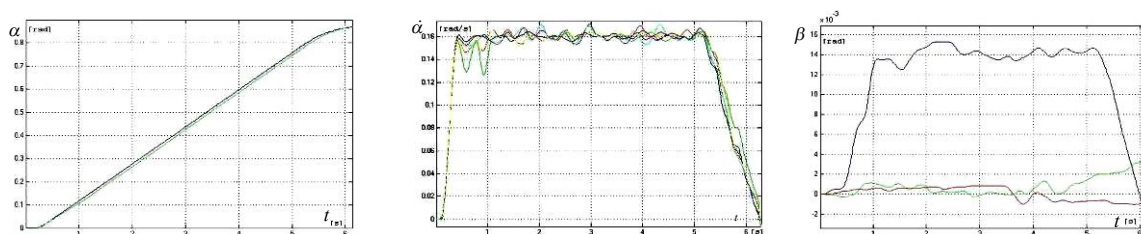
3. WERYFIKACJA METODY POZYCJONOWANIA WZGLĘDNEGO Z WYKORZYSTANIEM M.R.K

Metoda pozycjonowania wykorzystująca przyrosty przemieszczenia i prędkości (odometria) została przeanalizowana z wykorzystaniem minirobotu kołowego. Obliczenia wykonano, wykorzystując dane uzyskane w procesie weryfikacji m.r.k. Wykonana do celów weryfikacji metody odometrii symulacja numeryczna polegała na zarejestrowaniu danych pomiarowych z przetworników impulsowo-kodowych zabudowanych w silnikach napędzających pojazd. W tym celu stworzono algorytm pozwalający na rejestrację takiego przejazdu w pamięci mikrokontrolera, aby uzyskać największą rozdzielczość sygnału pomiarowego, a co za tym idzie - dokładność [1,2,3,7].

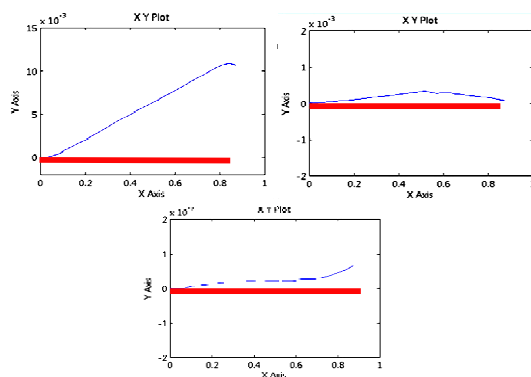
Głównym parametrem badanym dla pozycjonowania metodą odometrii był błąd, jaki powstaje w stosunku do założonej trajektorii oraz problem narastania tego błędu. Symulacje miały również prowadzić do minimalizacji tego błędu między innymi poprzez wykorzystanie metody sztucznej inteligencji.

Wyniki weryfikacji dla różnych rodzajów trajektorii przedstawiono na poniższych rysunkach.

- Przesunięcie m.r.k po torze prostoliniowym

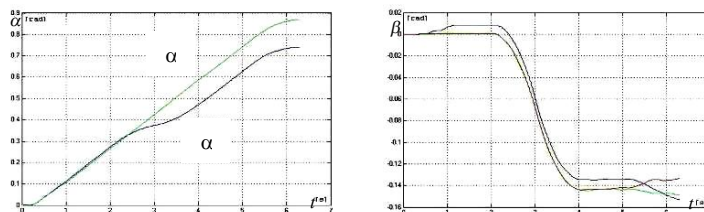
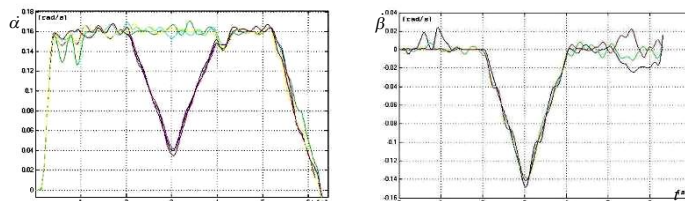
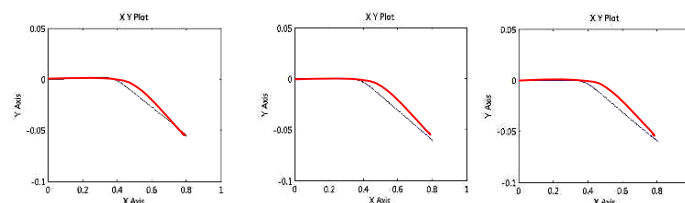


Rys. 5. Przebiegi czasowe: przemieszczenie α oraz prędkości α i β m.r.k w ruchu po torze prostoliniowym



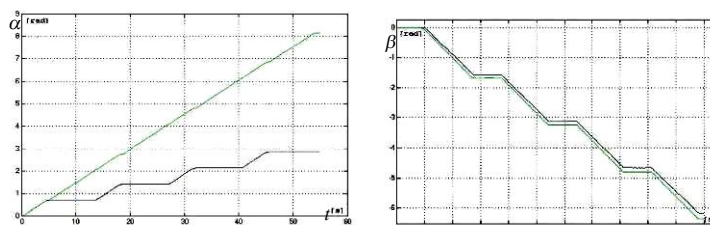
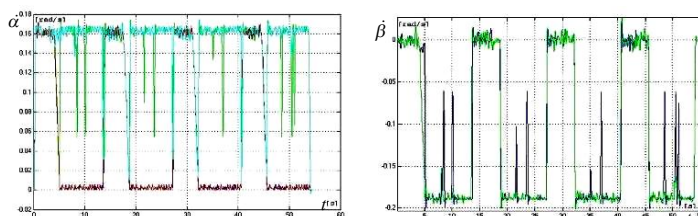
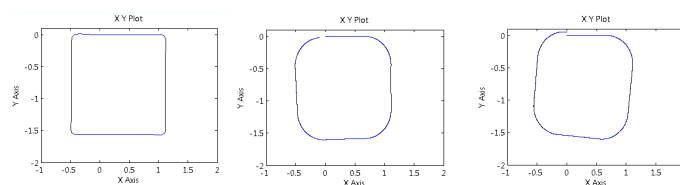
Rys. 6. Trajektorie ruchu m.r.k otrzymane w procesie weryfikacji metod pozycjonowania

- Przeszczenie m.r.k po torze łukowym

Rys. 7. Przebiegi czasowe: przemieszczenia α i β m.r.k w ruchu po torze łukowymRys. 8. Przebiegi czasowe: prędkości α' i β' 

Rys. 9. Trajektorie ruchu m.r.k otrzymane w procesie weryfikacji metod pozycjonowania

- Przeszczenie m.r.k po torze kwadratu

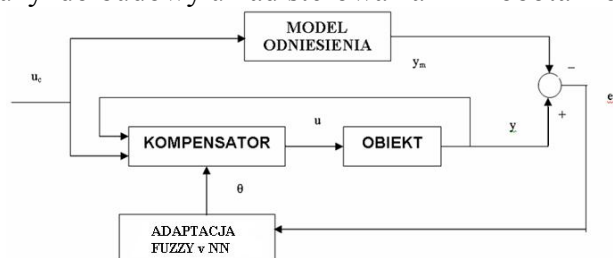
Rys. 10. Przebiegi czasowe: przemieszczenia α i β m.r.k w ruchu po torze kwadratuRys. 11. Przebiegi czasowe: prędkości α' i β' 

Rys. 12. Trajektorie ruchu m.r.k otrzymane w procesie weryfikacji metod pozycjonowania

Rysunki 5-12 przedstawiają parametry ruchu uzyskane w procesie weryfikacji metod pozycjonowania minirobota mobilnego. Przeprowadzone testy dotyczą trzech trajektorii, tzn. jazda m.r.k po torze prostoliniowym, krzywoliniowym (łukowym) oraz po torze kwadratowym. Trajektorie ruchu zostały tak dobrane, by w miarę możliwości jezdnych m.r.k potwierdzono, iż przyjęta metoda jest poprawna. Na rys. 6, 9 i 12 przedstawiono porównanie trajektorii zadanej (wzorcowej) w stosunku do rzeczywistej, po jakiej poruszał się pojazd. Wynika z nich, że odwzorowanie przebiega prawidłowo, a błędy w stosunku do wzorca nie przekraczają wartości 5%.

4. STEROWANIE ADAPTACYJNE ON-LINE M.R.K Z WYKORZYSTANIEM METOD SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

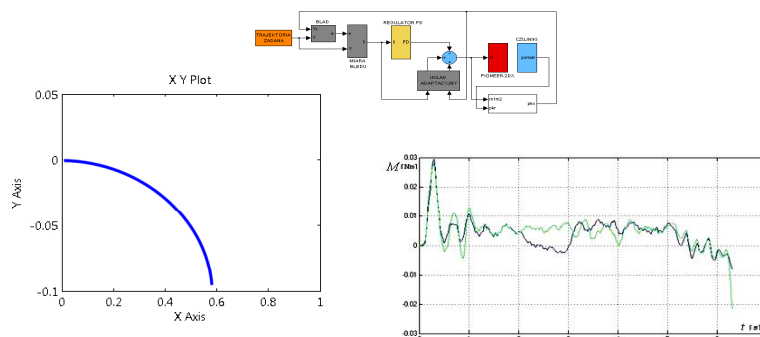
Kolejnym etapem weryfikacji układu sterowania m.r.k. było zastosowanie metod sztucznej inteligencji, tj. sieci neuronowych oraz algorytmów rozmytych do sterowania adaptacyjnego [1,3,8,9]. Rys. 13 przedstawia klasyczny model sterowania adaptacyjnego z modelem odniesienia który posłużył do budowy układu sterowania minirobota mobilnego.



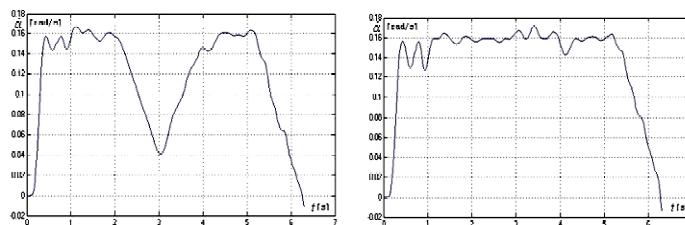
Rys. 13. Adaptacyjny układ sterowania z modelem odniesienia z zastosowaną sztuczną inteligencją AI

W przypadku weryfikacji on-line sterowania adaptacyjnego minirobota kołowego przyjęto odpowiednie trajektorie wzorcowe. Głównym kryterium klasyfikacji poprawności układu było prawidłowe odwzorowanie zadanej trajektorii oraz czas reakcji nadążnego układu sterowania. Otrzymane wyniki badań przedstawiono na rys. 14-18.

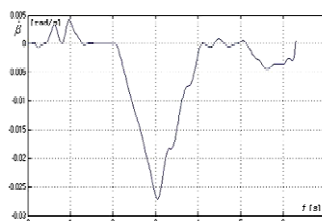
- ruch po trajektorii krzywoliniowej (jazda po łuku)



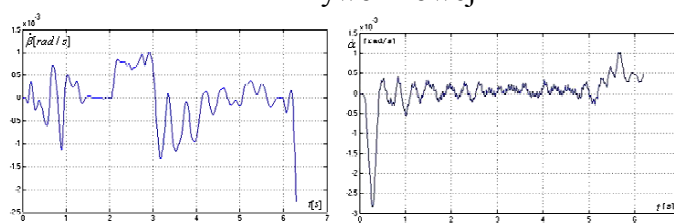
Rys. 14. Przebieg czasowy momentów napędowych w ruchu m.r.k po trajektorii krzywoliniowej (jazda po łuku)



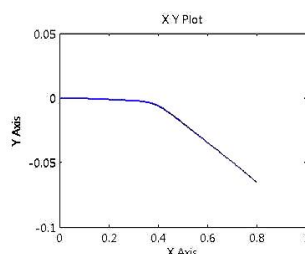
Rys. 15. Przebiegi czasowe rzeczywistej prędkości kątowej β oraz prędkości kątowej α w ruchu m.r.k po trajektorii krzywoliniowej



Rys. 16. Przebiegi czasowe rzeczywistej prędkości kątowej β w ruchu m.r.k po trajektorii krzywoliniowej



Rys. 17. Przebieg błędów odwzorowania przemieszczenia kątowego α oraz prędkości kątowej $\dot{\alpha}$ w ruchu m.r.k po trajektorii krzywoliniowej



Rys. 18. Trajektoria m.r.k układu sterowania adaptacyjnego

Charakterystyki przedstawione na rys. 14-18 pokazują, że zastosowany układ sterowania spełnił założone kryteria. Błędy powstałe w trakcie weryfikacji on-line mieszczą się w zakładanym przedziale. Sterowanie m.r.k przy wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji znacznie przyspieszyło proces samego projektowania, a sam układ sterowania szybciej i poprawniej reagował na zmiany zachodzące w trakcie ruchu.

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone rozważania analityczne oraz wyniki eksperymentów numerycznych świadczą o poprawności proponowanych rozwiązań. Weryfikacja systemu pozycjonowania m.r.k potwierdziła, że zastosowane sensory oraz układ prawidłowo reagowały tak, aby zminimalizować błąd odwzorowania zdanej trajektorii. W przypadku sterowania

adaptacyjnego przeprowadzone testy numeryczne potwierdziły poprawność wybranej metody. Zastosowanie algorytmów rozmytych oraz sieci neuronowych do sterowania adaptacyjnego znacznie przyspieszyły i uprościły ten proces.

Synergia sensorów określających przemieszczenie, pozycję i kierunek umożliwia dokładne i efektywne sterowanie robotów mobilnych.

LITERATURA

1. Giergiel M., Hendzel Z, Żylski W.: Modelowanie i sterowanie mobilnych robotów kołowych. Warszawa : Wyd. Nauk. PWN, 2002.
2. Dulęba I.: Metody i algorytmy planowania ruchu robotów mobilnych i manipulacyjnych. Warszawa : Akad. Oficyna Wyd. EXIT, 2001.
3. Małka P.: Pozycjonowanie i nadążanie minirobota kołowego. Praca doktorska 2008.
4. Giergiel J., Giergiel M., Małka P.: Identification m.r.k. Mechanics and Mechanical Engineering. Łódź 2006.
5. Giergiel M., Małka P.: Algorytmy rozmyte w sterowaniu minirobota kołowego. „Teoria maszyn i mechanizmów” 2004, s. 179-186.
6. Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L.: Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. Warszawa : PWN, 1999.
7. Giergiel M., Małka P.: Wybrane zagadnienia pozycjonowania kołowego minirobota mobilnego. „Pomiary, automatyka, kontrola” 2005, nr 5, s. 28-30.
8. Giergiel M., Małka P.: Zastosowanie systemów SCADA oraz bazy danych w sterowaniu minirobota kołowego. Zeszyty Naukowe Pol. Rzesz. 2005, „Mechanika” , z.65, s. 125-132.
9. Giergiel M., Małka P.: Mechatroniczne projektowanie mobilnego minirobota kołowego : projektowanie mechatroniczne – zagadnienia wybrane. Kraków 2005, s. 76-84.
10. Giergiel J., Giergiel M., Małka P.: Mechatronics of wheel minirobot m.r.k “Mechanics and Mechanical Engineering” Łódź 2006.

POSITIONING AND FOLLOW-UP OF MOBILE MINIROBOT

Summary. This article presents results of some researches related to positioning and traffic follow-up of wheeled mobile minirobots m.r.k and it's experimental verification. A manner of the positioning of the minirobot was presented with usage of analytical methods as well as methods of the artificial intelligence. In addition verification of follow-up with on-line methods was made. The result carried out of the study was to develop the optimal method of control in real-time (on-line) of minirobot m.r.k in the unknown working space as well as analysis of parameters of the move with usage of the artificial intelligence methods. As part of the research system visualized-control used for steering and positioning of the minirobot was also conducted. Constant analysis and verification of the path of the ride of the vehicle enabled precise and accurate achieving set trajectories and purposes.