

doi:10.15199/48.2023.01.65

Problematyka eksploatacji autonomicznych robotów mobilnych AMR

Streszczenie. W artykule przedstawiono problematykę funkcjonowania lokalizacji w autonomicznych robotach mobilnych AMR. Lokalizację robota mobilnego przeprowadza się nie na podstawie jednego pomiaru, lecz serii pomiarów wykonywanych najczęściej podczas jazdy. Pojedynczy pomiar dostarcza częściowych danych. Dokładne wyznaczenie położenia robota na podstawie jednego pomiaru z zastosowaniem kamery było możliwe przez stereowizję, czyli układ kamer sprzężonych ze sobą, lub przez triangulację, czyli pomiar azymutu do trzech obiektów znajdujących się na jednym zdjęciu. Jak zauważono w przeprowadzonych badaniach, do lokalizacji nadają się płaskie znaczniki z dwoma wyraźnymi pionowymi krawędziami zewnętrznymi. Analiza dokładności lokalizacji na podstawie blisko położonych znaczników znajdujących się na jednym obrazie pokazuje, że mogą wystąpić niekorzystne konfiguracje powodujące bardzo duży błąd lokalizacji. Z kolei dobrą dokładność w triangulacji zawsze uzyskamy, gdy znaczniki są znacznie od siebie kątowne, co wymaga porównania kilku zdjęć lub użycia skanera laserowego, który pozwala na niemal równoczesny pomiar w obszarze o szerokich granicach kątowych.

Abstract. The scientific work describes the problem of the functioning of locations in AMR autonomous mobile robots. The location of the mobile robot is carried out not on the basis of one measurement, but a series of measurements performed most often while driving. A single measurement provides partial data. Accurate determination of the robot's position on the basis of one measurement with the use of a camera was possible by stereovision, i.e. a system of cameras coupled with each other, or by triangulation, i.e. measuring the azimuth to three objects in one photo. Suitable for locating are flat markers with two distinct vertical outer edges. The analysis of the location accuracy on the basis of closely located markers located in one image shows that there may be unfavorable configurations causing a very large location error. In turn, good accuracy in triangulation will always be obtained if the markers are significantly angularly apart, which requires the comparison of several photos or the use of a laser scanner that allows almost simultaneous measurement in the area with wide angular boundaries. (**Problems of operation of autonomous robots mobile AMRs**)

Słowa kluczowe: autonomiczny robot mobilny, nawigacja, programowanie

Keywords: Autonomous Mobile Robots (AMR), navigation, programming

Wprowadzenie

Zadania stawiane robotom mobilnym AMR (ang. Autonomous Mobile Robots) obejmują dynamiczną manipulację i mobilność, które są realizowane zarówno na liniach produkcyjnych, jak i wspomagając człowieka w obszarach usługowych, zastosowaniach medycznych, rehabilitacji, opiece nad osobami starszymi, a także w ratownictwie i zadaniach specjalnych (rys. 1 i 2). Do tych ostatnich należeć mogą nowe zastosowania, jako platformy wyposażone w ramiona robotów kolaborujących [2,4]. Zadania te wymagają osiągnięcia mobilności oraz zdolności manipulacyjnych, których nie zapewniały dotychczasowe systemy zrobotyzowane. Bieżące badania obejmują rozwój systemów sterowania, nowe podejścia do planowania ścieżki, koncepcje interakcji człowiek-maszyna i nowe czujniki, które zapewniają robotom możliwości sensoryczne często bardziej wyrafinowane [13,15]. W ramach projektu badawczego budowany jest robot do zbioru owoców jagodowych, którego bazą będzie właśnie platforma robota autonomicznego, na niej zamontowane zostaną dwa ramiona zbierające truskawki. Z założenia robot AMR jest przeznaczony do bezpiecznej i wydajnej pracy wśród ludzi i wykonywania manewrów w bardzo dynamicznym środowisku [1,6,9].

Celem pracy była ocena funkcjonowania systemu lokalizacji robota mobilnego na potrzeby zastosowania go jako platformy jezdnej dla zrobotyzowanego zbioru truskawek.



Rys.1. Robot mobilny MOBOT® Transporter U1 [18]



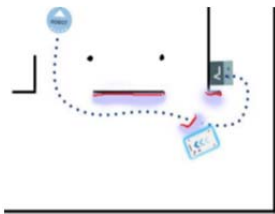
Rys.2. Robot mobilny MiR 100 [19]

Problematyka nawigacji w robotach AMR

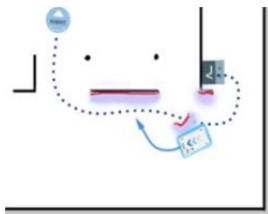
W związku wprowadzeniem funkcji autonomiczności do robotów mobilnych pojawiły się również problemy sterowania ich jazdą, które wynikają głównie ze zróżnicowanego i dynamicznie zmieniającego się środowiska ich pracy. Jeżeli robot jest zdalnie sterowany, problem ten może być rozwiązany przez człowieka sterującego ruchem robota. Roboty autonomiczne muszą realizować nawigację całkowicie samodzielnie. Stąd sterowanie robotem obejmuje rozwiązywanie przez niego zadań logicznych oraz sterowania ruchem. Proces nawigacyjny można podzielić na pozyskiwanie mapy otoczenia i korzystanie z niej (ang. mapping), do określenia aktualnej pozycji oraz planowanie i wykonanie trasy [4,5,8]. System nawigacji i sterowania odpowiada za doprowadzenie robota do pozycji docelowej unikając przeszkód. Zadaniem systemu nawigacji i sterowania jest obliczenie (zaplanowanie) toru jazdy robota z jednej pozycji na mapę do innej pozycji. Użytkownik systemu tworzy mapę i wybiera pozycję celu [10,11].

Główne komponenty systemu nawigacji to:

- **globalny planista.** Proces nawigacji zaczyna się od określenia przez „globalnego planistę” najlepszej ścieżki dla robota, aby przemieścić go z jego aktualnej pozycji do pozycji docelowej. Program komputerowy planuje trasę tak, aby uniknąć ścian i struktur określonych na etapie tworzenia mapy. Następnie globalny planista realizuje algorytm zapisany w komputerze robota, który generuje ścieżkę do pozycji docelowej. Nosi ona nazwę tzw. „ścieżki globalnej”, jest tworzona tylko na początku ruchu lub jeśli robotowi nie udało się osiągnąć pozycji celu i musi stworzyć nową ścieżkę [17]. Wygenerowana ścieżka omija tylko przeszkody, które robot wykrył podczas wyznaczania ścieżki oraz przeszkody zaznaczone na mapie. Globalną ścieżkę można zobaczyć w interfejsie robota jako kropkowaną linię od początkowej pozycji robota do pozycji docelowej (rys. 3);



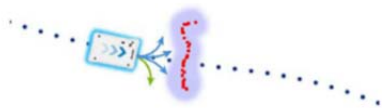
Rys. 3. Ścieżka globalna w misji robota



Rys. 4. Ścieżka lokalna w celu modyfikacji misji

– **lokalny planista.** Robot prowadzony jest przez system globalnego planisty, jednakże kiedy napotka przeszkodę, do pracy włącza się lokalny planista. Używany jest w sposób ciągły podczas jazdy robota, aby kierować go wokół przeszkód dynamicznych, podążając globalną ścieżką. Podczas gdy globalny planista tworzy jedną ścieżkę od początku do końca, planista lokalny kontynuuje tworzenie nowych ścieżek, które dostosowują się do aktualnej pozycji robota i przeszkód wokół niego. Lokalny planista przetwarza tylko obszar, który jest bezpośrednio w okolicy robota, wykorzystując dane wejściowe z czujników robota (rys. 4).

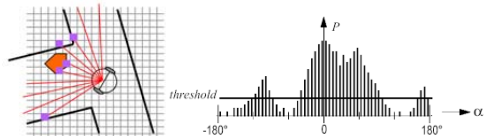
Po określeniu ścieżki lokalnej komputer robota wylicza żądany obrót i prędkość każdego koła napędowego w celu omięcia przeszkody (rys. 5). Aby robot podążał lokalną ścieżką, komputer musi wysłać sygnał sterujący do każdego sterownika silnika. Gdy robot osiągnie pozycję docelową, uruchamiane są hamulce do zatrzymania robota.



Rys. 5. Omięcie przeszkody poprzez system ścieżek lokalnych

Lokalne planowanie trasy realizowane może być możliwe poprzez metodę „Vector Field Histogram”, który jest algorytmem planowania ruchu w czasie rzeczywistym, zaproponowanym przez Johanna Borensteina i Yorama Korena w 1991 roku. Otoczenie robota zapisywane jest w formie siatki. Wartość przypisana każdej komórce to prawdopodobieństwo wystąpienia w niej przeszkody. Siatka zredukowana jest do postaci histogramu, gdzie zmienna niezależna określa kierunek ruchu [11,14]. W ten sposób można znaleźć wszystkie dostępne ścieżki (rys. 6). Wybierana jest ta której funkcja kosztu G jest najniższa (1):

$$(1) G = a \times \text{kąt_celu} + b \times \text{orient_kół} + c \times \text{poprzedni_kier}$$



Rys. 6. Histogram możliwych wektorów ruchu robota mobilnego

Za wykrywanie przeszkód w środowisku pracy odpowiadają: laserowe skanery bezpieczeństwa, kamery 3D i czujniki ultradźwiękowe. Czujniki te wykorzystywane są w procesie tworzenia mapy (wykrywają ściany, drzwi, meble i inne przeszkody), a następnie w trakcie ruchu robota wykrywają przeszkody dynamiczne (czerwone kropki na rys. 5).

Problematyka procesu lokalizacji robota

Celem procesu lokalizacji jest ustalenie przez robota, gdzie aktualnie się znajduje na mapie – robot może wykorzystać trzy informacje do określania pozycji:

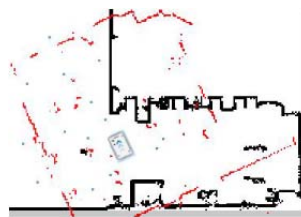
- początkowa pozycja robota (powstała w procesie mapowania);

- dane systemu IMU (ang. Inertial Measure Unit) oraz enkoderów silników napędu kół. Służą do określania odległości i szybkości robota, który przemieszcza się z pozycji początkowej (odometria);
- pomiary skanera laserowego (rys. 7) – służy do określania prawdopodobnych pozycji robota poprzez porównanie danych aktualnych z zapisanymi na mapie, realizuje funkcje bezpieczeństwa. Komputer robota porównuje dane wejściowe (pomiarowe) ze skanerów laserowych z ścianami na mapie, aż znajdzie najlepsze dopasowanie. Odbywa się to za pomocą algorytmu filtracji cząstek.

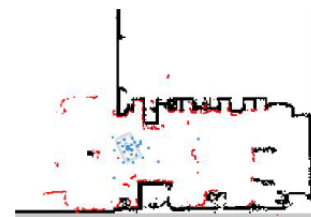


Rys. 7. Laserowy skaner bezpieczeństwa zastosowany w robocie mobilnym wykorzystywanym do badań

Realizując projekt zauważono w trakcie mapowania, że występują problemy z lokalizacją na dużych przestrzeniach przy niewielkiej liczbie obiektów stanowiących czytelne ściany (rys. 8,a,b). Na rysunku 9 przedstawiono robota mobilnego w trudnym do lokalizacji środowisku pracy. Obiekt stanowi uprawa truskawek, w której planowane jest zastosowanie zrobotyzowanego systemu zbioru zainstalowanego na autonomicznej platformie. Problemem jest przestrzeń, w której brakuje elementów konstrukcyjnych tunelu foliowego umożliwiających precyzyjną lokalizację. Zastosowane jako elementy nośne okrągłe rurki o małej średnicy, utrudniają poprawne odbicie wiązki laserowej i jej powrót do systemu pomiarowego.



Rys. 8a. Błędna lokalizacja



Rys. 8b. Poprawna lokalizacja

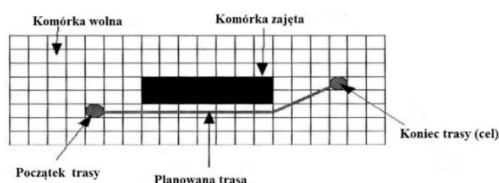


Rys. 9. Środowisko pracy robota z trudnymi warunkami lokalizacyjnymi

Sterowanie robotów mobilnych w zasadniczym stopniu zależy od ich możliwości manewrowych, stąd różne konstrukcje robotów mobilnych można podzielić na takie z węzłami nieholonomicznymi (posiadają minimalny promień skrętu) oraz takie których możliwości manewrowe w zasadzie są nieograniczone – holonomiczne (np. niezależnie napędzane koła umożliwiające zawracanie w miejscu, jazda bokiem) [7,12].

Tworzenie mapy wykorzystywanej do sterowania (planowania ruchu) robota polega na podziale mapowanego środowiska na komórki, którym będą przyjmowały

określone wartości, zależnie od stopnia ich dostępności w procesie planowania. Jedną z metod jest mapowanie rastrowe, gdzie dokonuje się podziału środowiska na tablice komórek w kształcie kwadratów. Tworzenie cyfrowego obrazu mapy mapy polega na określaniu zajętości danej komórki, nadając im wartości binarne. Przeważnie przyjmuje się wartość 0 dla wolnej komórki, a wartość 1 dla komórki zajętej – jednakże możliwe jest odwrotne przyporządkowanie. Przykładową mapę z metodą wyznaczania trasy przejazdu robota przedstawiono na rysunku 10. Kolor czarny oznacza obiekt (przeszkodę dla robota lub zabroniony obszar -np. trasę dla kursów powrotnych), a biały wolną przestrzeń, a której robot ma możliwość przemieszczania się. Widoczna jest trasa, jaką oprogramowanie sterujące robotem wyznaczyło w celu dotarcia do określonego miejsca, omijając komórki zajęte. Metoda optymalizacji trasy polega na wyszukaniu pustych pól i wybraniu trasy od startu do celu przy udziale najmniejszej ich liczby.



Rys. 10. Tworzenie trasy poruszania się robota przy udziale mapy rastrowej

Kluczowe w procesie optymalizacji trasy jest odpowiednie dobranie wielkości komórki siatki. Zbyt duża komórka spowoduje mało dokładne odzwierciedlenie środowiska, natomiast zbyt mała znacznie może wydłużyć czas obliczeń i powodować opóźnienia w ruchu robota. Metodami doświadczalnymi należy dobrać optymalne rozmiary komórki, zważając na gabaryty robota, dla którego ruch będzie planowany [1,3].

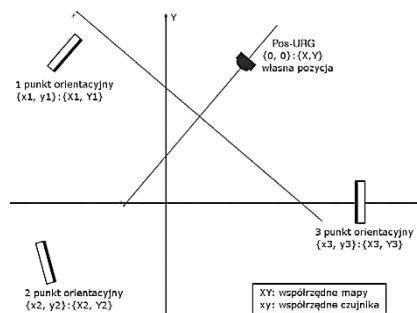
Orientacja robota w przestrzeni bardzo często przebiega wg metod odometrycznych. Wcześniej omawiane czujniki swój pomiar opierają na badaniu czynników zewnętrznych lub na efektach bezwładnościowych (tak jak akcelerometr). Jednakże położenie urządzenia możemy wyznaczać również na podstawie wykonanego ruchu. Najczęściej wykorzystuje się do tego celu enkodery, kontrolujące kąt obrotu wału napędowego. Metoda ta pozwala określać jego położenie, prędkość oraz przyspieszenie. Pomiar ma charakter względny, czyli swoje położenie odnosimy do poprzedniego,

co przy dużych obszarach może powodować zwielokrotnienie błędów (błąd systematyczny). Problemy te wynikają z poślizgu kół jezdnych. Prowadząc obserwacje poruszania się robota w tunelu na uprawie truskawek, zauważono, że takie sytuacje mają miejsce [6,9]. Podłoże pokryte jest specjalną włókniną, która ma tendencję do przemieszczania oraz teren jest nierówny, stawiając zmienne opory toczenia (potęgując zjawisko poślizgu). Pomiar odometryczny są wystarczające tylko w przypadku niewielkich odległości poruszania się robota, na twardym, płaskim podłożu umożliwiającym dobry kontakt koła z wysokim współczynnikiem tarcia. Aby skorygować błędy należałoby korzystać także z wcześniej omówionych elementów nawigacyjnych. Błędy pojawiające się w tej metodzie widoczne są na rysunku 8a. Należy zauważyć, że istnieje też możliwość występowania takich błędów w sytuacjach, kiedy robot zmieni swoje położenie po wyłączeniu z źródła zasilania lub w procesie lokalizacyjnym brakuje wyraźnych punktów odniesienia (markerów), co miało miejsce na plantacji truskawek.

Ocena procesu lokalizacji robota

Przeprowadzono badania polegające na ocenie funkcjonowania systemu lokalizacji robota mobilnego w specyficznych warunkach tuneli foliowych oraz wyniki odniesiono do pomiarów w hali, stanowiącej względnie idealne warunki pracy dla tego urządzenia.

Wykorzystano metodykę zakładającą oszacowaniu pozycji absolutnej w każdym miejscu, oraz na korygowaniu skumulowanej odometrii. W obu przypadkach kluczową rolę odgrywają zewnętrzne czujniki (np. czujnik laserowy, kamera wizyjna) oraz czujniki wewnętrzne (np. żyroskop, enkodery na kołach). Zarejestrowano w postaci mapy danych ich pozycje, sposoby ustawienia, odległości pomiędzy nimi oraz wektory usytuowania, następnie odczytywano współrzędne wg schematu przedstawionego na rysunku 11.



Rys. 11. Orientacja robota w pomiarach jakościowych

Robot mobilny lokalizuje się na mapie linii za pomocą odometrii oraz informacji o napotykananiu punktów charakterystycznych opisanych współrzędnymi. Odometria jest wykorzystywana podczas wykonywania obrotów kół napędowych oraz jazdy na wprost. Robot szacuje czas kolejnego ruchu, następnie w oparciu o znaną prędkość poruszania się, wyznacza pokonaną odległość lub kąt obrotu. Lokalna mapa tych informacji. Przybliżenia pozycji P pochodzące z odczytów odometrii oznaczone są przez u_i , a rzeczywista pozycja przez x_i , oba parametry indeksowane w taki sam sposób. Teraz, jeśli m będzie poprawną mapą otoczenia robota, to przy pewnych założeniach, prawdziwe jest równanie (2) opisujące rozkład prawdopodobieństwa w punkcie czasu t :

$$(2) P(x_{1:t}, m | z_{1:t}, u_{1:t}) = P(m | x_{1:t}, z_{1:t})P(x_{1:t} | z_{1:t}, u_{1:t})$$

Sygnal o lokalizacji punktu mapy jest dla robota informacją, że w danym momencie czasu znajduje się w miejscu o określonych współrzędnych.

Badanie dokładności lokalizacji zrealizowano poprzez analizę wyników otrzymywanych metodą odometrii w ruchu na wprost. Na potrzebę przeprowadzenia pomiarów, wyznaczono dwa odcinki pomiarowe: jeden na podłożu twardym i równym o długości 8 metrów oraz podobny drugi ale na podłożu podobnym do tego w tunelu z uprawą truskawki o tej samej długości. Odcinki stanowiły trasę przemieszczania się robota. Pomiar przeprowadzono dla różnych prędkości robota, umożliwiło to na wskazanie prędkości roboczej przy której występują najmniejsze błędy. Przeprowadzono po 10 serii pomiarowych a wyniki błędów uśredniono. Odczyty odległości wykonywano z dokładnością 1 mm. Przed pomiarami zaprogramowano misję robota, każdy przejazd rozpoczynał się wczytaniem misji obejmującej przejazd z punktu A do B, w których zmieniano prędkość przejazdu. W każdym przejeździe robot miał naładowaną baterię na min. 80%. Błąd e każdego przejazdu i przy określonej prędkości v wyznaczano wg standardowego wzoru (3):

$$(3) \quad e_{iv} = \frac{|d_m - d_{st}|}{d_m}$$

gdzie: d_m – zmierzona odległość, d_{st} – odległość pozyskana z systemu lokalizacji. Następnie uśredniono serie wyników i otrzymano średni względny błąd lokalizacji robota mobilnego przy określonej prędkości v (4):

$$(4) \quad \bar{e}_v = \frac{\sum_{i=1}^n e_{iv}}{n}$$

Wyniki pomiarów określające jakość lokalizacji reprezentowaną poprzez wartości średniego błędu względnego SBW błędu lokalizacji zamieszczono w tabeli 1 i 2. Zauważono, coś co można było przewidzieć, że metoda lokalizacji z zastosowaniem samej odometrii (przeźwień bez punktów odniesienia), będzie cechowała się dużo większym błędem.

Tabela 1. Wyniki pomiarów systemu lokalizacji – odometria

Prędkość v [m/s]		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
SBW (%)	Miękkie podłoże	3,6	4,5	5,9	8,1	9,3	10,2	11,4	12,6	14,2	15,1
	Twarde podłoże	2,5	3,3	3,5	3,7	4,3	4,8	5,6	6,3	7,1	8,3

Tabela 2. Wyniki pomiarów systemu lokalizacji – czujniki laserowe

Prędkość v [m/s]		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
SBW (%)	Miękkie podłoże	1,6	1,8	2,1	2,4	2,7	2,9	3,1	3,6	4,1	5,2
	Twarde podłoże	0,5	0,7	0,8	1,1	1,4	1,9	2,2	2,7	3,0	3,5

Przedstawione rozważania posłużą pracom projektowym nad konstrukcją platformy jezdnej robota do zbioru truskawek. Konieczne było przeprowadzenie analiz mających na celu ocenę sytemu lokalizacji do przyjęcia założeń konstrukcyjnych na miarę możliwości obliczeniowych sterownika PLC, który również będzie sterował ramieniem robota, chwytakiem oraz nadzorował system wizyjny do identyfikacji owoców.

Podsumowanie

Lokalizację robota mobilnego przeprowadza się nie na podstawie jednego pomiaru, lecz serii pomiarów wykonywanych najczęściej podczas jazdy. Pojedynczy pomiar dostarcza częściowych danych. Potwierdziły to pomiary, gdzie dużą dokładność uzyskano w ten sposób. Dokładne wyznaczenie położenia robota na podstawie jednego pomiaru z zastosowanie kamery jest możliwe poprzez stereowizję, czyli układ kamer sprzężonych ze sobą, lub przez triangulację, czyli pomiar azymutu do trzech obiektów znajdujących się na jednym zdjęciu. Do lokalizacji nadają się znaczniki płaskie o dwóch wyraźnych pionowych krawędziach zewnętrznych. Problemem jest lokalizacja od obiektów smukłych t.j. rurki konstrukcji nośnej tuneli foliowych, nogi stolików. Potęgują te problemy odległości robota od obiektów w procesie skanowania (mapowania) pomieszczenia.

Ponadto analizując rozwiązania techniczne zauważono, że położenie robota najlepiej wyznaczać stosując jeden sensor i wiele znaczników (metoda triangulacji) lub stosując wiele sensorów i wyznaczając głębię widocznej sceny (stereowizja). Analiza dokładności lokalizacji na podstawie blisko położonych znaczników mieszczących się w jednym obrazie pokazuje, że mogą wystąpić niekorzystne konfiguracje powodujące bardzo duży błąd lokalizacji. Z kolei dobrą dokładność przy triangulacji zawsze uzyskuje się jeżeli znaczniki są znacznie oddalone od siebie kątowno, co wymaga porównania kilku zdjęć lub zastosowania skanera laserowego umożliwiającego prawie jednoczesny pomiar w obszarze o szerokich granicach kątowych.

Autorzy: dr inż. Marcin Tomasiak, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Inżynierii Bioprocusów, Energetyki i Automatykacji, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, e-mail: marcin.tomasik@urk.edu.pl.

dr inż. Stanisław Lis, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Inżynierii Bioprocusów, Energetyki i Automatykacji, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, e-mail: stanislaw.lis@urk.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Ahn S., Choi J., Doh N., Chung W., A Practical Approach for EKF-SLAM in an Indoor Environment: Fusing Ultrasonic Sensors and Stereo Camera, *Autonomous Robots*, vol. 24, issue 3, (2008), No 3, 315-335.
- [2] Aufrere R., Gowdy J., Mertz C., Thorpe C., Wang C., Teruko Yata T. Perception for collision avoidance and autonomous driving. *Mechatronics*, (2003), No. 13(10), 1149-1161.
- [3] Azartash H., Banai N., Nguyen T. Q. An integrated stereo visual odometry for robotic navigation. *Robotics and Autonomous Systems*, (2014), No.62(4), 414-421.
- [4] Bagnell J. A., Bradley D., Silver D., Sofman B., Stentz A., Learning for Autonomous Navigation, *IEEE, Robotics and Automation*, (2010), No 2, 74-84.
- [5] Bonanni T. M., Della-Corte B., Grisetti G.. 3-D Map Merging on Pose Graphs. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2(2), (2017), No. 4, 1031-1038.
- [6] Borkowski A., Od nawigacji do aplikacji w robotach mobilnych, *Postępy robotyki. Sterowanie, percepcja i komunikacja*, (K. Tchoń, red.), WKiŁ, (2006), 215-234.
- [7] Briot S., Goldsztejn A., Topology Optimization of Industrial Robots: Application to a Five-bar Mechanism, *Mechanism and Machine Theory*, (2018), Vol. 120, 30-56, DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2017.09.011.
- [8] Drwiega M., Jakubiak J.. A Set of Depth Sensor Processing ROS Tools for Wheeled Mobile Robot Navigation. *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems*, (2017), No. 11(2), 48-56.
- [9] Hendzel Z., Żylski W., Burghardt A., Autonomiczne mobilne roboty kołowe. *Mechatroniczne projektowanie i sterowanie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, ISBN: 978-83-7199-524-8, (2008).
- [10] Howard A., Multi-Robot Mapping using Manifold Representations. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Louisiana, (2004), 4198-4203.
- [11] Jang G., Kim S., Kweon I. Robust self-localization of mobile robot using artificial and natural landmarks. *Conference: Computational Intelligence in Robotics and Automation, Proceedings. 2003 IEEE International Symposium on Vol. 1*, (2003), 412-417.
- [12] Khai, T.Q. Ryoo, Y.J. Gill, W.R. Im, D.Y. Design of kinematic controller based on parameter tuning by fuzzy inference system for trajectory tracking of differential, *Drive Mobile Robot. Int. J. Fuzzy Syst.* (2020), No. 22, 1972-1978.
- [13] Kim, Y., Kim, B.K. Efficient time-optimal two-corner trajectory planning algorithm for differential-driven wheeled mobile robots with bounded motor control inputs. *Robot. Autonomus System* (2015), No. 64, 35-43.
- [14] Kohsia S. Huang, Mohan M. Trivedi. Distributed video arrays for tracking, human identification and activity analysis. In *Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, volume 2, Jul, (2003), 9-12.
- [15] Mellah, S. Graton, G. El Adel, E.M. Ouladsine, M. Planchais, A. Health State Monitoring of 4-mecanum Wheeled Mobile Robot Actuators and its Impact on the Robot Behavior Analysis. *J. Intell. Robot. Syst.* (2021), No. 102, 86-92.
- [16] Łabęcki P., Kasiński A., Aktywny pokładowy system wizyjny dla robota autonomicznego, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 55(9), (2009), 731-736.
- [17] Skrzypczyński P., Simultaneous Localization and Mapping: A Feature-based Probabilistic Approach, *Int. Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, (2009), Vol. 19, No. 4, 575-588.
- [18] Robot mobilny MOBOT® AGV FlatRunner MW (2020), <https://wobit.com.pl/produkt/12754/roboty-mobilne-mobot-agv/robot-mobilny-mobot-agv-flatrunner-mw/> [dostęp: 26.06.2020].
- [19] Roboty autonomiczne MiR (2020), <https://www.astor.com.pl/produkty/robotyzacja/roboty-mir/mir200.html> [dostęp: 26.06.2020].