

Sterowanie ruchem automatycznie sterowanych pojazdów

Wojciech Ulatowski

Artykuł przedstawia testy algorytmu sterowania automatycznie sterowanego pojazdu (AGV). Podano wymagania pozwalające na autonomiczne sterowanie oraz ograniczenia wynikające z pracy AGV bez pętli sprzężenia zwrotnego. Omówiono błędy wyliczania aktualnego położenia AGV oraz sposoby ich minimalizowania dla przebadanego algorytmu sterowania.

Automatycznie sterowane pojazdy (AGV) przedstawione w [6] realizują typowe zadania robotyki mobilnej, takie jak:

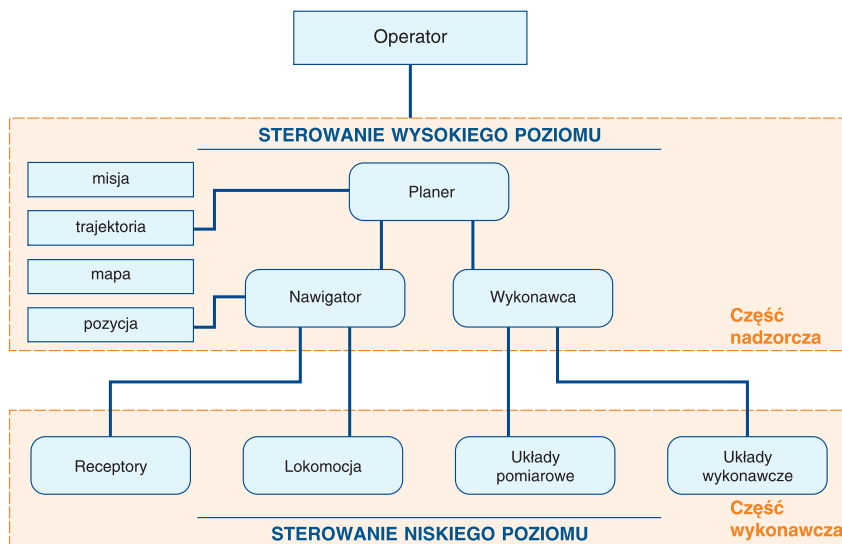
- **planowanie misji** – automatyczne generowanie ciągu następujących po sobie czynności, które platforma musi wykonać, aby zrealizować postawiony przez operatora cel;
- **planowanie trajektorii** – automatyczne generowanie ciągu kolejnych punktów docelowych w przestrzeni pracy platformy, uwzględniające ograniczenia (np. przeszkody) oraz minimalizujące wybrane kryterium np. długość trasy;
- **bezkolizyjne realizowanie zaplanowanej trajektorii** – śledzenie ścieżki, wykrywanie przeszkód oraz wyznaczanie aktualnego położenia AGV.

Układy sterowania AGV można podzielić na część nadzorczą oraz na część wykonawczą, co zostało przedstawione na rys. 1. W części nadzorczej (sterowanie wysokiego poziomu) są przetwarzane i analizowane informacje pochodzące ze źródeł zewnętrznych (czujniki, polecenia operatora) oraz wewnętrznych (baza danych, baza wiedzy). W części wykonawczej analizę podlegają sygnały z efektorów oraz receptorów platformy mobilnej [3, 4].

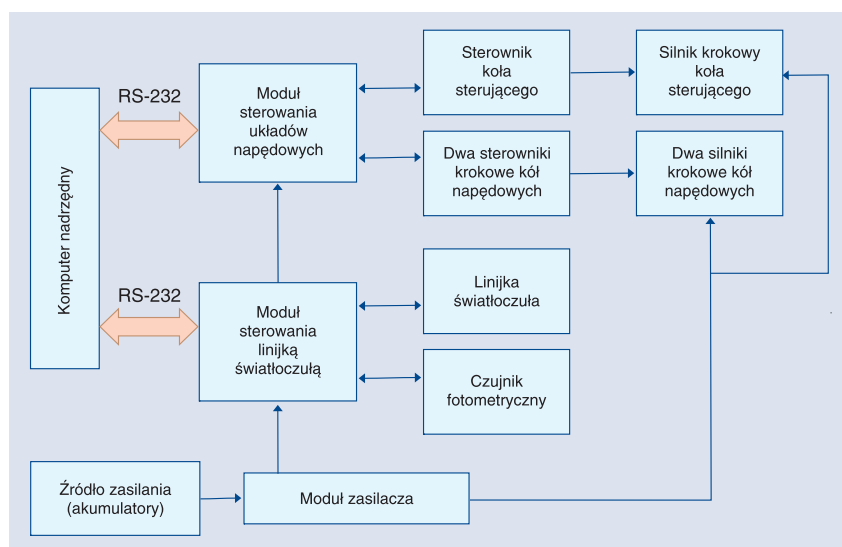
Metody sterowania AGV omówione w [6] podlegają często wstępnym badaniom na testowych platformach mobilnych. Na rys. 2 przedstawiono schemat blokowy testowej platformy mobilnej znajdującej się w Katedrze Systemów Automatyki na Wy-

dziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej. Na tym stanowisku mogą być przeprowadzane badania układów sterowania wykorzystujące sygnały z następujących źródeł:

- z **linijki światłoczułej** umożliwiającej ruch platformy wzdłuż linii znajdujących się na powierzchni ru-



Rys. 1. Sterowanie platformą AGV



Rys. 2. Struktura testowej platformy mobilnej

Mgr inż. Wojciech Ulatowski – Zakład Automatyki i Urządzeń Pomiarowych AREX

chu – sterowanie polega na wyliczeniu odpowiedniej wartości skrętu koła sterującego, tak aby platforma znajdowała się zawsze centralnie nad paskiem, wzdłuż którego ma się poruszać;

- z **czujników zbliżeniowych** pozwalających na wykrywanie przeszkód znajdujących się bezpośrednio na drodze platformy. Mając informację o tym, które czujniki wykryły przeszkodę, układ sterowania generuje odpowiednie sygnały sterujące, które są przesyłane do układów lokomocji platformy;
- z **tarcz kodowych** zainstalowanych przy silnikach krokowych, niosących informację o aktualnie przebytej drodze każdego z dwóch kółek napędowych (odometria).

Przy wykorzystaniu odometrii oraz linijki światłoczułej istnieje możliwość uzyskania informacji o aktualnym położeniu platformy z dwóch niezależnych źródeł, co umożliwia porównanie wyników i eliminację błędów.

Badany algorytm sterowania [7]

Przed rozpoczęciem misji następuje zaplanowanie ścieżki łączącej punkt początkowy z końcowym. Ścieżka ta jest planowana metodą grafową [8], ze względu na konieczność śledzenia znaczników umieszczonych na powierzchni ruchu. Metoda ta gwarantuje znalezienie rozwiązania – ścieżki łączącej punkt początkowy z punktem końcowym – jeżeli tylko taka ścieżka istnieje. Ścieżka ta będzie zawsze najkrótszą ze wszystkich możliwych. Metoda grafowa heurystyczna stosowana do planowania ścieżki, pomimo iż jest dość skomplikowana, została zastosowana w algorytmie sterującym pracą platformy po to, aby koszt przejścia [5] pomiędzy dwoma dowolnymi punktami był jak najmniejszy.

Ponieważ opisywana platforma mobilna śledzi pasek umieszczony na powierzchni ruchu, porusza się tylko po wybranych fragmentach przestrzeni roboczej, oznacza to, że platforma powinna:

- poruszać się po odcinkach prostych lub łukach pomiędzy skrzyżowaniami;
- skręcać na skrzyżowaniach o zadany kąt.

Podczas ruchu platformy pomiędzy dwoma skrzyżowaniami sygnały sterujące są generowane wyłącznie na podstawie informacji z linijki światłoczułej. Gdy platforma zaczyna ruch na odcinku łączącym dwa skrzyżowania, obliczana jest odległość pomiędzy aktualnym położeniem platformy oraz skrzyżowaniem, do którego platforma aktualnie podąża. Na podstawie wartości tej odległości wyliczana jest prędkość poruszania się platformy. Im większa jest ta odległość, tym platforma porusza się z większą prędkością. Gdy dwa skrzyżowania nie są połączone linią prostą tylko łukiem lub odcinkami łamanymi, wówczas informacje z linijki światłoczułej są wykorzystywane do sterowania platformą. Podczas ruchu platformy, oprócz śledzenia paska znajdującego się na podłodze, wyliczane jest aktualne położenie platformy. Jeżeli platforma zbliży się do skrzyżowania, na którym będzie skręcała na odległość poniżej zadanego progu, wówczas nastąpi początek manewru skrętu platformy. Manewr ten polega na zmniejszeniu

prędkości poruszania się platformy oraz skręceniu koła sterującego. Przed rozpoczęciem manewru skrętu należy ustalić, czy zakręt jest w prawo, czy w lewo oraz kiedy manewr należy zakończyć, wprowadzając platformę w tryb poruszania się pomiędzy skrzyżowaniami. Informacje te są niezbędne, aby po zakończeniu manewru skrętu platforma znalazła się nad paskiem łączącym aktualne skrzyżowanie z następnym.

Do określenia wartości kąta pomiędzy odcinkiem ścieżki, na którym platforma się aktualnie porusza a odcinkiem, po którym będzie się poruszała po zakończeniu manewru skrętu posłużono się geometrią analityczną. Odcinki pomiędzy skrzyżowaniami zostały potraktowane jako wektory, a wartość kąta pomiędzy tymi odcinakami została wyliczona na podstawie wzoru na kąt pomiędzy dwoma wektorami w układzie XOY. Znając orientację platformy przed rozpoczęciem manewru skrętu oraz wartość kąta między dwoma odcinkami, po których platforma się porusza, łatwo wyliczyć pożądaną orientację platformy po zakończeniu skrętu. W przypadku zastosowanego algorytmu sterowania ruchem platformy, manewr skrętu trwa zatem tak długo, aż nie zostanie osiągnięta orientacja platformy zgodna z docelową, koło sterujące jest skręcane o kąt o stałej wartości, niezależnej od wyliczonego kąta obrotu platformy α_{obr} , zaś odległość od skrzyżowania, w której manewr skrętu platformy się rozpoczyna, zależy od wartości tego kąta.

Platforma mobilna wyposażona jest w czujniki zbliżeniowe, wykrywające przeszkody stałe bądź ruchome, znajdujące się na drodze jej ruchu. Zakładając, że przeszkoda została wykryta przez oba czujniki umieszczone z przodu, platforma musi jak najszybciej zatrzymać się, aby w przeszkodę nie uderzyć. Następnie centrum dyspozycyjne umieszczone na pokładzie platformy mobilnej planuje ponownie ścieżkę i znajduje punkt, do którego platforma musi się cofnąć, aby rozpocząć ruch wzdłuż nowo zaplanowanej ścieżki. Gdy jednak tylko jeden z czujników wykrył przeszkodę, wówczas platforma nie zatrzymuje się, lecz skręca w celu ominięcia przeszkody. Aby jednak ominięcie przeszkody było możliwe, aktualna odległość platformy od skrzyżowania musi być dostatecznie duża. W przypadku, gdy podczas próby powrotu na zaplanowaną ścieżkę zostanie ponownie wykryta przeszkoda, wówczas platforma się zatrzymuje i zaczyna realizować algorytm postępowania zgodny z algorytmem po wykryciu przeszkody przez oba czujniki zbliżeniowe.

Przy zastosowaniu na platformie niewielkiej liczby czujników oraz komputera pokładowego o małej mocy obliczeniowej, sterowanie niskiego poziomu realizowane jest przez programy działające według ustalonego z góry sekwencyjnego algorytmu. Podczas ruchu platformy układ sterowania wykonuje więc szereg czynności, które są powtarzane. Na początku misji, polegającej na dojechaniu z położenia aktualnego (startowego) do dowolnego położenia końcowego, następuje wczytanie danych informujących o wzajemnym połączeniu skrzyżowań oraz ich geometrycznym położeniu. Tablicę zawierającą współrzędne (x, y) skrzyżowań oraz tzw.

macierz sąsiedztwa możemy w naszym przypadku traktować jako mapę otoczenia platformy, dzięki znajomości której może ona planować bezkolizyjną trajektorię pomiędzy dwoma dowolnymi skrzyżowaniami. Każde ze skrzyżowań musi mieć niepowtarzalną etykietę, będącą liczbą ze ściśle określonego przedziału. Wynikiem planowania ścieżki pomiędzy punktem startowym i końcowym jest więc ciąg liczb, oznaczających skrzyżowania, przez które podczas ruchu platforma musi przejechać. Gdy punkt startowy nie ma połączenia z punktem końcowym, algorytm kończy działanie komunikatem „brak ścieżki łączącej punkt początkowy z końcowym”. Zaplanowana ścieżka jest zawsze najkrótszą z możliwych, co gwarantuje zminimalizowanie kosztów przebycia zaplanowanej drogi pomiędzy punktami startowym i końcowym. Po zaplanowaniu ścieżki wyliczane są odległości do skrzyżowania kontrolnego oraz do skrzyżowania, na którym będzie wykonany manewr skrętu, jak i prędkość na prostej. Wartość tej prędkości zależy od odległości do skrzyżowania. Im większa jest ta odległość, tym platforma porusza się z większą prędkością. W pewnej, bezpiecznej odległości od punktu, w którym rozpoczyna się manewr skrętu, platforma zostaje wyhamowana do niewielkiej prędkości, tak aby manewr został wykonany z jak największą precyzją, a platforma po jego zakończeniu znalazła się nad paskiem łączącym aktualne skrzyżowanie z kolejnym zaplanowanym. Po wyliczeniu wszystkich niezbędnych wartości platforma rozpoczyna ruch.

Program nawigacyjny sterujący platformą mobilną wykonuje zadanie ruchu z dowolnego punktu uznanego za początkowy do dowolnego punktu uznanego za końcowy zgodnie z następującym algorytmem:

1. obliczanie aktualnego położenia platformy (x, y, Q) – odometria;
2. w zależności od aktualnego manewru platforma wykonuje następujące czynności:
 - a) *ruch po prostej*:
 - śledzenie paska umieszczonego na podłodze, czyli generowanie wartości sygnałów sterujących (wartość kąta skrętu kółka sterującego oraz wartość prędkości poruszania się platformy), tak aby ów pasek znajdował się zawsze pod centralnym czujnikiem linijki światłoczułej;
 - korekta aktualnych współrzędnych położenia, po wykryciu punktu kontrolnego;
 - obliczanie odległości do skrzyżowania i generowanie flagi o rozpoczęciu lub nie manewru skrętu;
 - b) *manewr skrętu*:
 - porównywanie aktualnego kierunku platformy z docelowym i generowanie flagi o zakończeniu lub trwaniu manewru skrętu;
3. kontrolowanie za pomocą czujników zbliżeniowych otoczenia platformy i automatyczna zmiana wykonywanych zadań po wykryciu przeszkody;
4. kontrolowanie, czy platforma nie zabłądziła: jeżeli tak, to nastąpi automatyczna zmiana wykonywanych czynności, które powinny doprowadzić do odnalezienia przez platformę wcześniej zaplanowanej ścieżki;

5. kontrolowanie, czy platforma dojechała do celu: gdy platforma dotrze do celu automatycznie się zatrzymuje.

Jeżeli podczas ruchu platformy wzdłuż zaplanowanej trajektorii nastąpi zmiana zaplanowanych wcześniej zadań, to układ sterowania powinien doprowadzić do kontynuowania jej ruchu. Jeżeli platforma osiąga punkt końcowy, to misja kończy się sukcesem, a platforma zatrzymuje się automatycznie.

Wyniki testów

Przedmiotem badań było przede wszystkim sprawdzenie, czy na badanej platformie mobilnej zainstalowano wystarczającą liczbę czujników, aby mogła ona poruszać się autonomicznie. Zbadano, czy algorytm sterowania, bez względu na występujące zakłócenia podczas wykonywania zadania, jest w stanie zawsze wysterować tak platformę, aby ta osiągnęła cel.

Aby sterowanie autonomiczną platformą mobilną było efektywne, niezbędna jest wiedza o jej aktualnym położeniu względem punktu odniesienia. Im różnica pomiędzy wartością wyliczoną a rzeczywistą jest większa, tym istnieje większe prawdopodobieństwo zgubienia ścieżki przez platformę. W algorytmie sterowania zaimplementowanym na badanej platformie mobilnej aktualne położenie wyliczane jest metodą odometrii [1, 2].

Podstawową wadą odometrii jest to, że jest to metoda bez sprzężenia zwrotnego, czyli powstałe błędy nie są korygowane, lecz powielane. Podczas badań potwierdzono, że wartości współrzędnych położenia platformy, wyliczane metodą odometrii, tym bardziej różniły się od rzeczywistych współrzędnych jej położenia, im dłuższą drogę platforma pokonywała.

Czynniki powodujące powstawanie błędów odometrii to:

- poślizg kół napędowych,
- nierówna średnica kół napędowych,
- niewspółosiowość kół,
- nierówność podłoża,
- błędy kwantyzacji – rodzaj i dokładność zastosowanych tarcz kodowych,
- skończona szybkość próbkowania,
- zbyt gwałtowne przyśpieszenie.

Doświadczalnie stwierdzono, że błąd odometrii podczas ruchu platformy po prostej wynosi około 4 %, zaś podczas manewru skrętu około 10 %. Aby błąd ten wyeliminować lub chociaż ograniczyć, należy na drodze ruchu platformy zamieścić znaczniki o znanych współrzędnych. Podczas przejazdu platformy nad znacznikiem, linijka światłoczuła wykryje znacznik i aktualne współrzędne położenia platformy zostaną zastąpione współrzędnymi położenia znacznika odczytanymi z tabeli.

Aby opisane rozwiązanie korekcji błędów odometrii dawało dobre rezultaty, należy ustalić rzeczywiste położenie znaczników z jak największą dokładnością. Zbyt duże błędy mogą spowodować zmniejszenie dokładności lokalizacji zamiast jej zwiększenia.

Ponieważ podczas planowania ścieżki nie jest znane aktualne rozmieszczenie przeszkód wokół platformy, algorytm sterowania planuje ścieżkę pomiędzy dwoma punktami tylko na podstawie bazy danych. Występowanie przeszkody zostanie wykryte dopiero podczas ruchu platformy do celu i wówczas następuje zmiana zaplanowanej ścieżki. Takie rozwiązanie nie jest efektywne. Zamontowanie na platformie kamery oraz sonaru umożliwi zaplanowanie ścieżki, która omija wszystkie przeszkody aktualnie występujące w otoczeniu platformy.

Przeprowadzone eksperymenty dotyczyły znajdowania przez platformę uprzednio zgubionej ścieżki oraz powrotu platformy do punktu, z którego rozpoczęła ruch po wykryciu przeszkody i zaplanowaniu nowej ścieżki. Okazało się, że umieszczenie linijki światłoczułej w pobliżu kół napędowych daje bardzo dobre rezultaty podczas ruchu platformy do przodu. Gorsze rezultaty uzyskuje się podczas jej ruchu do tyłu.

Podsumowanie

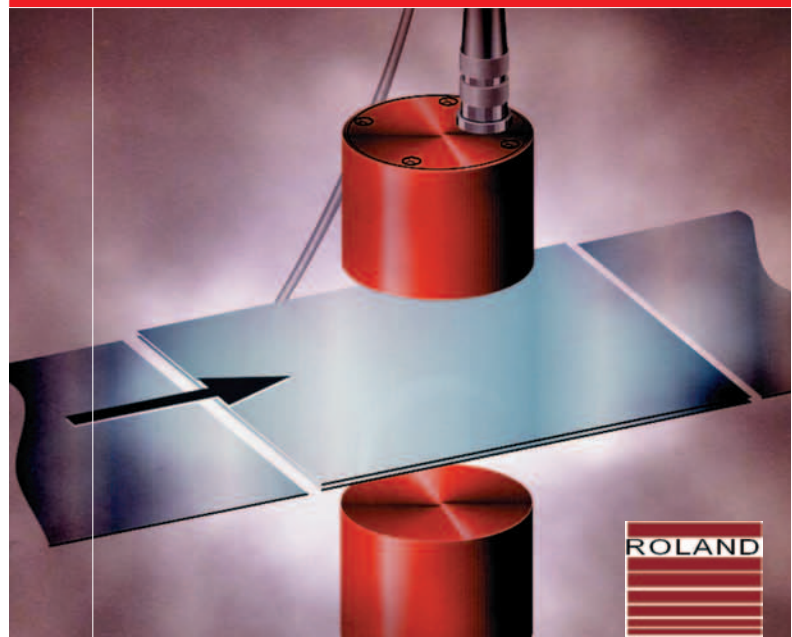
Badany algorytm planowania trajektorii zaimplementowany w układzie jezdny testowej platformy mobilnej gwarantuje przejście z punktu uznanego za początkowy do punktu uznanego za końcowy najkrótszą możliwą drogą. Algorytm ten umożliwia powrót platformy na zaplanowaną ścieżkę, w przypadku gdy ścieżka zostanie zgubiona przez platformę oraz zmianę zaplanowanej ścieżki, gdy zostanie wykryta przeszkoda.

Bibliografia

1. Borenstein J., Everett H. R., Feng L.: Where am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning, The University of Michigan, 1996.
2. Borenstein J., Everett H. R., Feng L, Wehe D.: Mobile Robot Positioning – Sensors and Techniques, Journal of Robotic Systems, Special Issue on Mobile Robots. Vol. 14 No. 4, pp. 231–249.
3. Dulęba I.: Metody i algorytmy planowania ruchu robotów mobilnych i manipulacyjnych, Wydawnictwo EXIT, Warszawa 2001.
4. Morecki A., Knapczyk J.: Podstawy robotyki. Teoria i elementy manipulatorów i robotów, WNT, Warszawa 1999.
5. Tchoń K., Mazur A., Dulęba I., Hossa R., Muszyński R.: Manipulatory i roboty mobilne, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 2000.
6. Ulatowski W., Masłowski A.: Automatycznie sterowane pojazdy, PAR 10/2003, s. 28.
7. Ulatowski W.: Sterowanie układem jezdny robota kołowego, Praca dyplomowa, Katedra Systemów Automatyki, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2002.
8. Wirth N.: Algorytmy+struktury danych=programy, WNT, Warszawa 1989.

REKLAMA

Kontrola podwójnych arkuszy blach



WYŁĄCZNY PRZEDSTAWICIEL

Contrinex

Di-Soric

Duelco

Hiquel

Metrol

Murrelektronik

Pantron

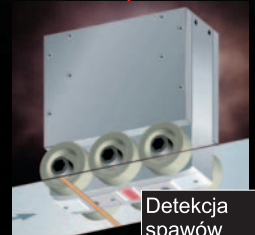
REER Safetytechnic

Roland electronic

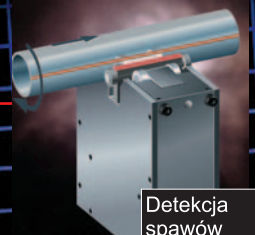
SNT Sensortechnik



Detekcja podwójnych blach



Detekcja spawów w arkuszach



Detekcja spawów na rurach

Contec Sp. z o.o. od 1998 roku wspiera polski przemysł oferując wysokiej jakości produkty do automatyzacji i modernizacji procesów przemysłowych. Współpraca z głównymi dostawcami na całym świecie pozwala nam zaoferować kompletne rozwiązania i doradztwo techniczne dla wszystkich sektorów produkcji, a nasza dobrze przygotowana kadra służy Państwu najlepszą pomocą.



CONTEC Sp. z o.o. ul. Lipowa 7, PL 62-052 Komorniki
Tel. +48 (0) 61 810-83-50, fax. +48 (0) 61 810-84-45
e-mail: contec@contec.net.pl , www.contec.net.pl