

Janusz Szpytko
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,

Paweł Hyla
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,

WYBRANE METODY STEROWANIA POJAZDAMI AUTOMATYCZNYMI W TERMINALACH KONTENEROWYCH

Streszczenie: Przedmiotem wypowiedzi są wybrane metody budowy przestrzeni roboczej automatycznych środków transportowych, w szczególności typu AGV/ ALV oraz projektowania ich trajektorii ruchu. Dokonano analizy wybranych narzędzi sztucznej inteligencji w sterowaniu pojazdami autonomicznymi.

Słowa kluczowe: AGV/ ALV, transport bliski, sterowanie

1. WSTĘP

Zagadnienie elastycznego sterowania pojazdami automatycznymi typu AGV (ang. *Automated Guided Vehicle*)/ ALV (ang. *Automated Lifting Vehicle*) jest przedmiotem badań podejmowanych w wielu jednostkach naukowych na całym świecie [1, 3, 21, 27]. Obecnie rozwój algorytmów oraz doskonalenie metod sterowania jednostek mobilnych typu AGV/ ALV odbywa się poprzez doskonalenie dotychczas stosowanych metod [2] oraz pozyskiwanie nowych mechanizmów [11, 20] i ich stosowanie w dedykowanych środowiskach cyfrowych. Istotnym zagadnieniem w zakresie sterowania pojazdami typu AGV/ ALV jest potrzeba dynamicznego wyznaczania ich trajektorii ruchu w znanym lub zmiennym otoczeniu [13, 15, 24], planowanie trajektorii ruchu (ang. *routing*) [1, 8, 12] i harmonogramowanie działań użytecznych (ang. *scheduling*) [15, 22].

Przedmiotem wypowiedzi jest przegląd metod sterowania pojazdami automatycznymi typu AGV/ ALV, w szczególności algorytmów ukierunkowanych na optymalne wykorzystanie floty zintegrowanych celowo środków transportowych sterowanych automatycznie w terminalach kontenerowych.

2. PRZESTRZEŃ ROBOCZA POJAZDÓW AUTOMATYCZNYCH - MAPY CYFROWE I NAWIGACJA

Nawigacja pojazdów automatycznych typu AGV/ ALV realizujących ruchy robocze w przestrzeni roboczej wykorzystuje przedmiotowe cyfrowe mapy przestrzeni weryfikowane pod względem zgodności ze stanem rzeczywistym i będące ponadto przedmiotem predefiniowania [25]. Lokalizacja pojazdu typu AGV/ ALV może być określana w układzie bezwzględny (B) lub w układzie względny (W) [4, 13], gdzie aktualne położenie jest określane względem ostatniej znanej pozycji pojazdu. Wśród współczesnych systemów stosowanych w lokalizacji AGV/ ALV można wyróżnić metody:

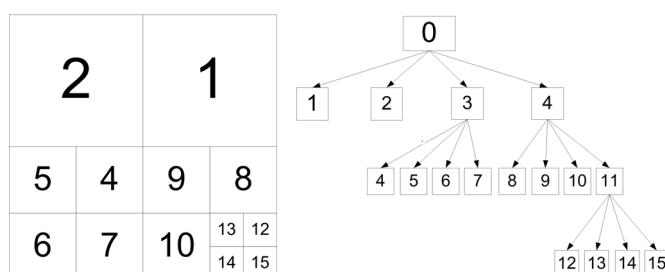
- pomiarów odometrycznych, bazujące na danych z sonarów, wykorzystujące dalmierze laserowe, radiowe wykorzystujące markery typu RFID (ang. *Radio Frequency Identification*) (W),
- wykorzystujące systemy pozycjonowania typu GPS (ang. *Global Positioning System*) (B),
- wykorzystujące systemy GPS ze znacznikami referencyjnymi typu DGPS (ang. *Differential Global Positioning System*), wizyjne, probabilistyczne (B, W).

Z wykorzystaniem czujników rejestrujących charakterystyczne punkty otoczenia i umieszczonych w pojeździe, generowana jest mapa otoczenia lub lokalizacja pojazdu z jednoczesnym generowaniem mapy - układ typu SLAM (ang. *Simultaneous Localization and Mapping*) [5, 11]. Znajomość przestrzeni roboczej i aktualnej pozycji AGV/ ALV oraz charakterystyczne punkty robocze umożliwiają projektowanie trajektorii ruchu urządzenia.

Główną niedogodność projektowania trajektorii pojazdów automatycznych stanowi czas przetwarzania danych niezbędny do przeprowadzenia analizy. Dotychczas stosowane metody projektowania trajektorii ruchu [9] można podzielić na metody przeszukiwania (np. przy pomocy grafu) oraz sztucznych pól potencjałowych. Metody przeszukiwania uwzględniają całą przestrzeń roboczą będącą przedmiotem zainteresowania użytkownika, natomiast metody potencjałowe są szczególnie użyteczne do analizy przeszkód znajdujących się w bezpośrednim otoczeniu pojazdu.

Przykładem metody przeszukiwania jest podział przestrzeni równomierny przestrzeni roboczej typu *quad-tree* (drzewo poczwórnego podziału) [22] - rys.1. Przy użyciu tej metody całe pole robocze, w którym realizują ruchy robocze pojazdy automatyczne jest dzielone (sztucznie) na cztery kwadratowe pola, którym przypisywany jest potencjał: w całości puste, w całości zajęte lub mieszane (zawierające przeszkody - pola zajętości oraz pola puste). W przypadku pól mieszanych podział jest ponawiany do momentu możliwości jednoznacznego przypisania jednej z cech: w całości puste, w całości zajęte. Przeprowadzone podziały umożliwiają budowę drzewa, którego każdy wierzchołek jest wierzchołkiem przeszukiwanego grafu. W następnej kolejności określa się czy komórki

sąsiadują ze sobą i czy można przystąpić do planowania bezkolizyjnej trajektorii ruchu [14, 22].



Rys. 1. Algorytm podziału typu quadtree [20]

Zastosowanie metod sztucznych pól potencjałowych w odniesieniu do pojazdów typu AGV/ ALV została przejęta od autonomicznych jednostek poruszających się w trudnym terenie bez możliwości predefiniowania trajektorii optymalnej ścieżki ruchu. Pomysł sztucznych pól potencjałowych polega na realizacji dwóch niezależnych działań nadrzędnych posiadających dwa bieguny typu: *przyciągaj cel* i *odpychaj przeszkodę*. Po zdefiniowaniu celu (bądź działań z nim bezpośrednio związanych) oraz przeszkód, następuje realizacja algorytmu ukierunkowanego na zadanie typu: *podążaj za* lub *i unikaj od*. W realizacji algorytmu sztucznych pól potencjałowych można uwzględniać wyłącznie pozycję jednostki AGV (metoda klasyczna) oraz jej prędkość wraz z uwzględnieniem pozycji (metoda uogólniona).

Metodę sztucznych pól potencjałowych (algorytm wyznaczający dwa pola potencjałowe metodą propagacji ośmiokierunkowej dla każdego kierunku ruchu) w zastosowaniu do pojazdów AGV/ ALV przedstawiono w pracy [26]. Przy pomocy pól potencjałowych utworzono graf, którego krawędzie stanowiły jednostkowe przemieszczenia punktów tak dobrane, aby ich odległość była stała. Do przeszukania grafu zastosowano algorytm A*Star z kosztem heurystycznym będącym kombinacją wartości pola potencjałowego punktów [13].

W rezultacie analizy wybranej literatury można stwierdzić, że zagadnienie dynamicznego budowania map cyfrowych przestrzeni roboczej środków transportu technologicznego i nawigacji pojazdów realizujących celowe zadania są problemami istotnie utrudniającymi ich praktyczne zautomatyzowanie.

3. PROJEKTOWANIE TRAJEKTORII RUCHU POJAZDÓW AUTOMATYCZNYCH

W pracy [15] przedstawiono zagadnienie wyznaczania trasy (ang. *routing*) pojazdów automatycznych oraz harmonogramowania ich pracy (ang. *scheduling*). Możliwymi kryteriami wyznaczania trajektorii ruchu pojazdów są: długość drogi/ trasy (minimalizacja długości trasy), czas (najkrótszy czas realizacji działania) oraz energetyczne

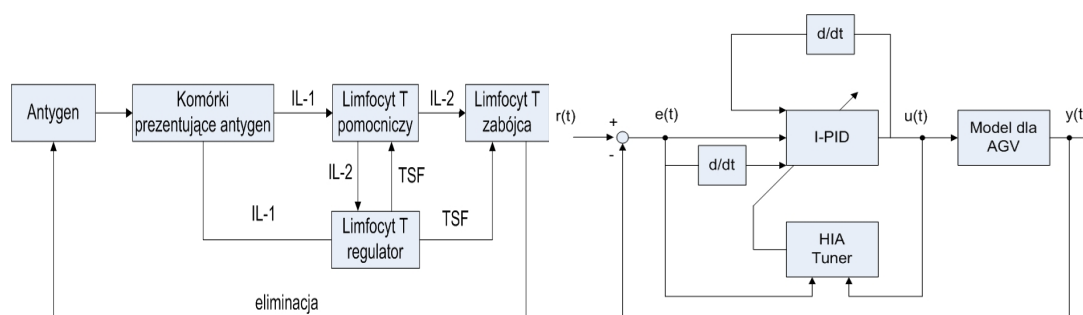
(minimalizacja wydatku energetycznego związanego z realizacją działania) lub ich kombinacja. W literaturze znane są rozwiązania stosowania w sterowaniu pojazdami logiki rozmytej [6, 16, 17, 18, 19], adaptacji algorytmów heurystycznych z sieciami neuronowymi [1], hybryd (logika rozmyta, sieci neuronowe) [18].

W publikacji [3] została przedstawiona koncepcja wykorzystania algorytmów genetycznych do wyznaczania optymalnych ścieżek przejść, natomiast w pracy [1] przedstawiono próbę adaptowania algorytmów heurystycznych w połączeniu z sieciami neuronowymi oraz sprzęgnięcia klasycznych narzędzi sterowania typu PID z narzędziami wzorowanymi na zachowaniach mechanizmów immunologicznych człowieka typu HIA (ang. *Humour Immune Algorithm*) [23].

Zarządzanie flotą pojazdów typu AGV jest przedmiotem pracy [3, 10], gdzie zaproponowano algorytm przeszukiwania typu *tabu* (ang. *tabu search*). Heurystyczny algorytm przeszukiwania może być używany dla rozwiązywania złożonych problemów optymalizacyjnych typu komiwojażera TSP (ang. *Traveling Salesman Problem*) z funkcjami (działaniami) niedozwolonymi (*ruchy tabu*) [7].

Pojazdy automatyczne wyposażane są w układy wizyjne celem ich pozycjonowania w przestrzeni roboczej oraz identyfikacji możliwych przeszkód lub innych przypadkowych niedogodności występujących podczas realizacji działania. W ich rezultacie należy podjąć akcje zaradcze. Zagadnienie było inspiracją do zastosowania w procesie sterowania pojazdami algorytmu odpornościowego typu immunologicznego zabezpieczającego system przed zagrożeniami i minimalizującego możliwe do powstania w ich wyniku jego degradacje [23].

W układzie immunologicznym po wykryciu antygeny następuje jego akwizycja przy pomocy komórek APC (ang. *Antigen Presenting Cell*) prezentujących antygen markerami białkowymi (tak zwane interleukinami IL). Substancje białkowe oddziałują na limfocyty pomocnicze odpowiedzialne za pobudzenie odpowiedzi odpornościowej. Na podstawie klasycznego układu regulacji sprzęgniętego z układem wzorowanym na mechanizmach immunologicznych zaproponowano nowy rodzaj kontrolera typu I-PID (rys.2) [23]. Realizacja kontrolera PID z modulem HIA (ang. *Humour Immune Algorithm*) [6, 16, 17, 19] umożliwi selekcję zakłóceń wraz z jednoczesnym oznaczeniem i przypisaniem statusu zakłócenie lub przeszkody typu: *omijaj* przeszkodę w rezultacie zmiany trajektorii lub *kontynuuj* zadanie transportowe po zaplanowanej trajektorii.

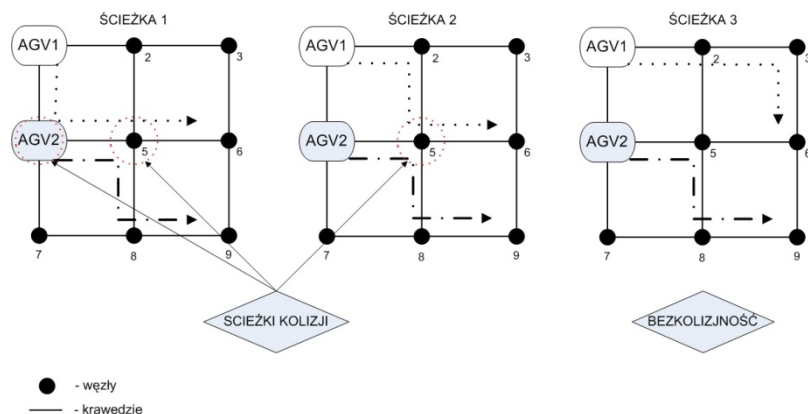


Rys. 2. Schemat blokowy mechanizmu odpowiedzi odpornościowej oraz pomysłu sterowania typu I-PID (*Immune Proportional Integral Derivative*) [23]

Zagadnienie użycia wystarczającej liczby środków transportowych z liczby dysponowanej celem realizacji sformułowanego działania zgodnie z założoną strategią jest przedmiotem publikacji [2], w której zaproponowano model typu QAP (ang. *Quadratic Assignment Problem*). W modelu typu QAP do istniejącego zbioru n -modów transportowych przypisano m -zadań transportowych: zbiór par typu (m,n) , w którym zadanie optymalizacyjne sprowadza się do przypisania m -zadań w taki sposób, aby suma poszczególnych odległości pomnożona przez odpowiednie strumienie przepływów była minimalna. Do rozwiązania sformułowanego zagadnienia podjęto próby adaptacji zachowania populacji mrówek w obliczu konieczności zabezpieczenia gniazda z larwami w przypadku uszkodzenia mrowiska.

Z problemem wyznaczenia optymalnej liczby pojazdów niezbędnych do realizacji sformułowanego zadania transportowego powiązane są algorytmy wzajemnej współpracy urządzeń. Do modelowania takowego zagadnienia, w pracy [12] zaproponowano model węzłowo-krawędziowy składającego się z:

- węzłów (punktów) modelujących miejsca bezkolizyjnych możliwych działania celowego pojazdów typu AGV,
- krawędzi przypisanych do ścieżek bezkolizyjnego przemieszczania się pojazdów, a ryzyko kolizji sprowadzone zostaje do punktów węzłowych (rys.3).



Rys.3. Model węzłowo-krawędziowy z wyznaczeniem miejsc kolizji współpracujących pojazdów AGV [12]

W rezultacie analizy wybranej literatury można stwierdzić, że zagadnienie projektowania trajektorii ruchu konfigurowanego celowo i dynamicznie dysponowanego zbioru środków transportu technologicznego jest problemem nadal wymagającym wypracowanie skutecznej metody i narzędzi wspomagających proces decyzyjny.

4. PODSUMOWANIE

Przedmiotem wypowiedzi są wybrane metody budowy przestrzeni roboczej środków transportowych automatycznych, w szczególności typu AGV/ ALV oraz projektowania ich trajektorii ruchu. Dokonano analizy wybranych narzędzi sztucznej inteligencji w sterowaniu pojazdami autonomicznymi.

W rezultacie analizy wybranej literatury można stwierdzić, że w procesach użytkowania pojazdów automatycznych istotnymi są zagadnienia:

- dynamicznego budowania map cyfrowych przestrzeni roboczej środków transportu technologicznego,
 - nawigacji pojazdów realizujących celowe zadania,
 - projektowania trajektorii ruchu konfigurowanego celowo,
 - dynamicznie dysponowanego zbioru środków transportu technologicznego,
- są problemami istotnie utrudniającymi ich praktyczne zautomatyzowanie i nadal wymagającymi wypracowanie skutecznych metod i narzędzi wspomagających proces decyzyjny.

Praca badawcza sfinansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2008-2011.

Bibliografia

1. Bruce G., Raghavan S., Wasil E.: *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. Springer, 2008.
2. Commander C.W.: *A survey of the Quadratic Assignment Problem, with applications*. Morehead Electronic Journal of Applicable Mathematics, Issue 4, pp.1-15, 2005.
3. Farahani Z.F., Laporte G., Miandoabchi E., Bina S.: *Designing efficient methods for the tandem AGV network design problem using tabu search and genetic algorithm*. Int J Adv Manuf Technol. Vol. 36, pp.996–1009, 2008.
4. Gademann A.J., van de Velde S.L.: *Positioning automated guided vehicles in a loop layout*. European Journal of Operational Research, Vol. 127, pp.565–573, 2000.
5. Garulli A., Giannitrapani A., Rossi A., Vicino A.: *Mobile Robot SLAM for Line-Based Environment Representation*. IEEE Conference on Decision and Control, Vol. 2, pp.2041-2046, 2005.
6. Giergiel J., Hendzel Z., Jagielowicz C.: *Rozmyta realizacja odpornego sterowania ruchem mobilnego robota kołowego*. Przegląd Mechaniczny, Zeszyt 9, str. 20-24, 2005.
7. Glover F., Laguna M.: *Tabu search*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997.
8. Huang Y., Liang Ch., Yang Y.: *The optimum route problem by genetic algorithm for loading/unloading of yard crane*. Computers & Industrial Engineering, Vol. 56, pp.993-1001, 2009.
9. Latombe J.C. (ed): *Robot Motion Planning and Control*. Springer, 1998.
10. Laporte G., Farahani R.Z., Miandoabchi E.: *Designing an efficient method for tandem AGV network design problem using tabu search*. Applied Mathematics and Computation, Vol. 183, pp.1410–1421, 2006.
11. Newman P.M., Durrant-Whyte H.F.: *A New Solution to the simultaneous localization and map building (SLAM) problem*. IEEE Transactions on robotics and automation, Vol. 17, No. 3, pp.229-241, 2001.
12. Nishi T., Morinakab S., Konishib M.: *A distributed routing method for AGVs under motion delay disturbance*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 23, pp.517-532, 2007.
13. Nowakowski J.: *Algorytmy sterowania robotem mobilnym w otoczeniu ruchomych przeszkód*. Tom 11, Zeszyt 3, str. 223-232, 2007.
14. Podśędkowski L.: *Dynamiczne planowanie trajektorii robotów mobilnych w zmiennej przestrzeni roboczej*. Politechnika Łódzka, Łódź, 1999.
15. Qiu L., Hsu W.J, Huang S.Y., Wang H.: *Scheduling and routing algorithms for AGVs: a survey*. Int. J. Prod. Res., Vol. 40, No. 3, pp.745–760, 2002.
16. Smoczek J., Szpytko J.: *Conventional and fuzzy control of an overhead traveling cranes*. CARS & FOF 2008, 24th ISPE international conference on CAD/CAM robotics & factories of the future, Koriyama, Japan 29–31 July 2008.
17. Smoczek J., Szpytko J.: *Fuzzy logic and neural network approach to identification and adaptive control of an overhead traveling crane*. Logistyka, Nr 6, str. 1-12, 2009.

18. Smoczek J., Szpytko J.: *Pole placement approach to discrete and neuro-fuzzy crane control system prototyping*. Journal of KONES: Powertrain and Transport, Vol. 16, No. 4 pp.435–445, 2009.
19. Smoczek J., Szpytko J.: *Zastosowanie algorytmów heurystycznych w systemach sterowania ruchem suwnic*. Zeszyty Naukowe, Nr 12, str. 145–146, Politechnika Świętokrzyska, 2009.
20. Solimanpur M., Vrat P., Shankar R.: *An ant algorithm for the single row layout problem in flexible manufacturing systems*. Computers & Operations Research, Vol. 32, pp.583-598, 2005.
21. Szpytko J.: *Kształtowanie procesu eksploatacji środków transportu bliskiego*. Biblioteka Problemów Eksploatacji, ITE, Kraków - Radom, 2004.
22. Yahja A.: *Framed-Quadtree Path Planning for Mobile Robots Operating in Sparse Environments*. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol 1, pp.650-655, Belgium, 1998.
23. Young J.L., Suh J.H., Lee J.W., Kwon S. L.: *Driving control of an AGV for an automated container terminal using an immunized PID controller based on cell-mediated immunity*. Artif Life Robotics, Vol. 9, pp.90–95, 2005.
24. Yu H., Malik R.: *Aimy: An Autonomous Mobile Robot Navigation in Unknown Environment with Infrared Detector System*. Journal of Intelligent and Robotic Systems, Vol. 14, pp.181-197, 1995.
25. Pfister S.T., Roumeliotis S.I., Burdick J.W.: *Weighted Line Fitting Algorithms for Mobile Robot Map Building and Efficient Data Representation*. Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp. 1304-1311, Taipei, Taiwan, September 14-19, 2003.
26. Zelinsky A.: *Using Path Transform to Guide The Search for Findpath in 2D*. The International Journal of Robotics Research, Vol. 13, No. 4, pp. 315-325, 1994.
27. Trojnecki M., Szynekarczyk P.: *Tendencje rozwoju mobilnych robotów ładowych. Autonomia robotów mobilnych – stan obecny i perspektywy rozwoju*. Pomiar Automatyka Robotyka, Vol. 9, s.5-9, 2008

SELECTED AUTOMATED DEVICES CONTROL METHODS IN CONTAINER TERMINALS

Abstract: The paper focus attention on the selected methods helping design operation space of automated transport devices, particularly AGV/ ALV types, as well as their movement trajectory planning. Also analysis of selected so-called intelligent control tools in automated devices has been discussed base on known references.

Keywords: AGV/ ALV, material-handling devices, control