

Andrzej TYPIAK¹

WSPOMAGANIE OPERATORA POJAZDU TRANSPORTOWEGO O WYSOKIEJ MOBILNOŚCI

W referacie przedstawiono koncepcję wspomagania operatora podczas manewrowania zdalnie sterowanym pojazdem. Zastosowanie dwuczłonowej konstrukcji połączonej sterowanym sprzęgiem hydraulicznym zwiększa zdolności pokonywania przeszkód, dzielność w terenie oraz możliwości manewrowe pojazdu. Wykorzystanie danych z dalmierza laserowego w układzie wspomagania operatora umożliwia zdalny załadunek i rozładunek towarów niezależnie od pory dnia.

UNMANNED LOGISTIC VEHICLE WITH OPERATOR AIDING SYSTEM

Proposal of a remote controlled, self loading vehicle for transporting unified loads is presented in this paper. The usage of a hydraulic connection between two parts of the vehicle increases it's ability to maneuver and traverse rough terrain and obstacles. Using data from the laser scanner in the Operator Aiding System allows loading and unloading packages at any time of the day or weather conditions.

1. WSTĘP

Z uwagi na specyfikę działań pododdziałów wojskowych, koncentrujących się na terenach zurbanizowanych, priorytetem jest zapewnienie wsparcia logistycznego na poziomie pluton/kompania/batalion - w terenie zurbanizowanym oraz na bezpośrednich podejściach w terenie otwartym [1]. Efektywność działania wymaga:

- transportowania ładunku o masie od 1500 do 3500 kg (1-3 europalety lub 1-2 palety amunicyjne o masie do 1830 kg);
- zdolności do samo załadunku i samo rozładunku – wskazana zdolność do podejmowania ładunków niestandardowych;
- poruszania się po bezdrożach oraz pokonywania przeszkód terenowych i urbanistycznych na poziomie lepszym od samochodów terenowych.

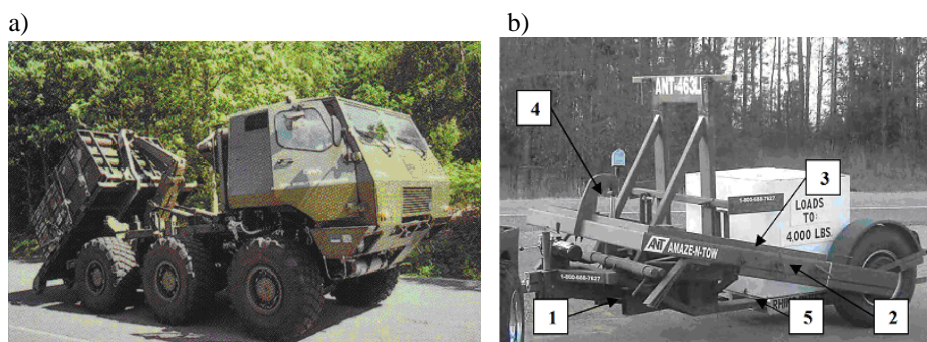
Najpopularniejszy system transportowy – europalety – istotnie ograniczają zarówno masę (do 1000 kg) jak i wymiary ładunku (800x1200x1400 mm). W wielu przypadkach są one niewystarczające. Skłania to do poszukiwania alternatywnych rozwiązań –

¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, 00-908 Warszawa, ul. Kaliskiego 2, atypiak@wat.edu.pl

pozwalających zwiększyć masę i wymiary ładunku, gwarantując jednocześnie możliwość jego dostarczenia bez kłopotliwych przeładunków, bezpośrednio do końcowego odbiorcy. Przykładem takiego rozwiązania są mini-flatracki (rys. 1a).

Wadą systemu mini - flatracków jest bardzo duży kąt przechyłu ładunku podczas jego załadunku na pojazd terenowy za pomocą systemu hakowego. Powoduje to konieczność bardzo solidnego mocowania ładunku, a ponadto mogą wystąpić znaczne obciążenia dynamiczne ładunku podczas podejmowania i rozładunku.

Alternatywnym rozwiązaniem przyczepa samo załadowcza wykorzystująca widłowy system załadunku i wyładunku (system ANT-463L), dzięki czemu możliwy jest załadunek, transport i wyładunek ładunków spaletyzowanych. Podejmowanie ładunku możliwe jest jedynie z podłoża (nie można podjąć ładunku z środka transportowego). Konstrukcja przyczepy umożliwia transport ładunku pomiędzy kołami.



Rys. 1. Systemy transportowe: a - podejmowanie mini - flatracka przez samochód wysokiej mobilności; b - przyczepa samo załadowcza wykorzystująca system ANT-463L: 1 – rama główna, 2 – rama pomocnicza, 3 – przegub, 4 – siłownik hydrauliczny, 5 - widły

2. UKŁAD WSPOMAGANIA OPERATORA ZDALNIE STEROWANEGO POJAZDU TRANSPORTOWEGO

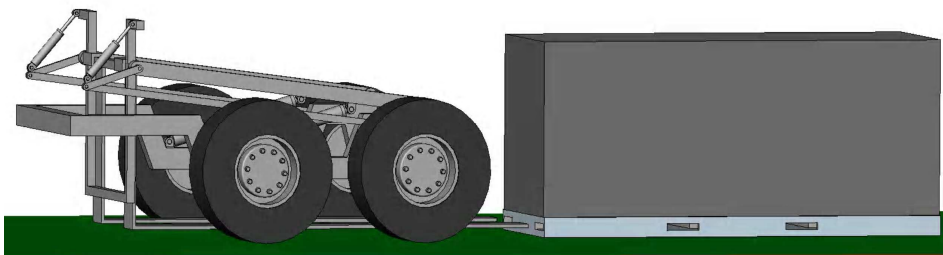
Nawigacja pojazdem bezzałogowym na podstawie obrazów wizyjnych wymaga od operatora dużego skupienia i poświęcenia temu procesowi dużo uwagi. Zbliżający się obiekt jest zwykle obserwowany za pomocą kamery. W referacie przedstawiono metodę wyznaczania orientacji obiektu na podstawie danych ze skanera laserowego i przedstawiono jej zastosowanie załadunek ładunku spaletyzowanego. Prawidłowa realizacja zadania wymaga ustawienia pojazdu w osi ładunku (max. tolerancja wynosi ± 3 cm w płaszczyźnie xOy i $0,3^0$ dla ustawienia względem obiektu. Minimalny zasięg układu rozpoznania palet powinien być większy niż 20 m [2].

Przeznaczeniem układu wspomaganie operatora jest kierowanie pojazdu w kierunku palety na podstawie danych ze skanera laserowego i pomiaru przebytej drogi. Sterowanie pojazdem podczas załadunku palet realizowane jest w następujących etapach:

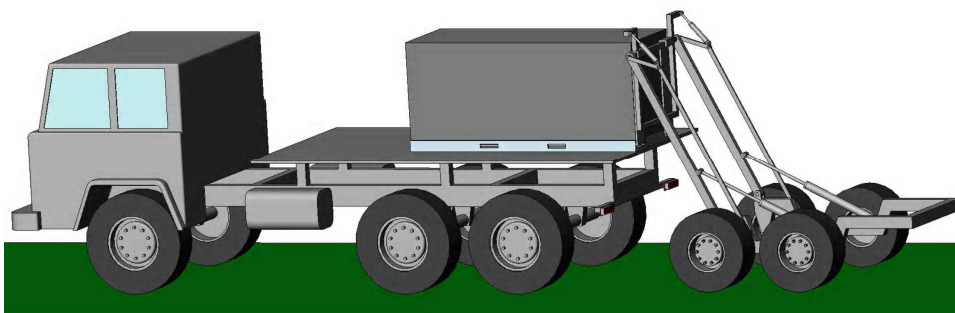
1. Operator ustawia pojazd frontem do palety i uaktywnia układ wspomaganie.

2. Rozpoznanie terenu przez system, wstępna selekcja celu (kryterium – minimum odległości).
3. Operator potwierdza wybrany cel lub wybiera inny następnie system generuje trajektorię i podaje sygnał startu.
4. Operator rozpoczyna jazdę, nadzorując ruch pojazdu i „zatwierdza” go do momentu, gdy pojazd nie zostanie automatycznie zatrzymany po załadunku palety (rys.2).

a)



b)



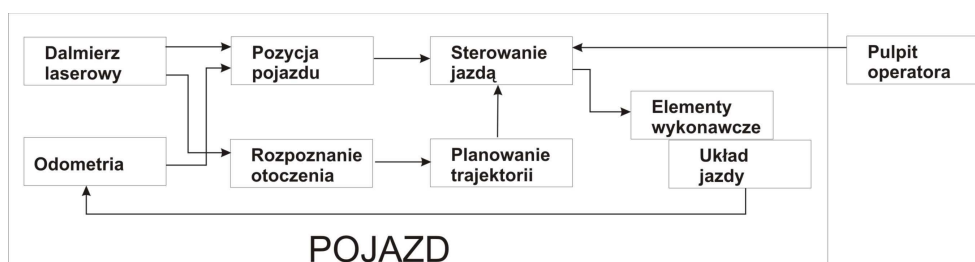
Rys. 2. Realizacja wybranych czynności załadunkowych: a – położenie załadunkowe przy podejmowaniu ładunku z podłoża b – najazd na paletę umieszczoną na środku transportowym

Operator nadzoruje ruch pojazdu używając sygnałów sterujących (przyspieszenie, hamulec). Układ sterowania zadaje kąt skrętu kół członu napędowego oraz konfigurację członu sprzęgającego, ogranicza prędkość pojazdu podczas manewrowania i omijania przeszkód i zatrzymuje pojazd po osiągnięciu celu.

System sterowania posiada budowę modułową a sterowanie realizowane jest w układzie wewnętrznej lub zewnętrznej pętli sprzężenia zwrotnego (rys. 3). Sterowanie w układzie z zewnętrzną pętlą sprzężenia zwrotnego realizowane jest w początkowej fazie jazdy. Na podstawie danych z dalmierza laserowego układ rozpoznania otoczenia wyznacza wszystkie możliwe cele. Po wyborze właściwego celu blok planowania generuje trajektorie jazdy pojazdu w oparciu o kinematyczny model pojazdu.

W pętli wewnętrznej sterowania na podstawie danych z dalmierza laserowego i układu odometrii wyznaczana jest aktualna pozycja pojazdu względem wyznaczonego celu. Układ

sterowania jazdą oblicza odchyłki od zaplanowanej trasy i generuje nowe sygnały sterujące kątem skrętu kół, konfiguracją sprzęgu i prędkością. Panel operatora umożliwia inicjowanie i nadzór procesu załadunku palety.



Rys. 3. Architektura systemu sterowania pojazdem

3. WYDZIELANIE CECH W DANYCH ZE SKANERA LASEROWEGO I METODY ICH PASOWANIA

Jednym z istotnych warunków prawidłowego sterowania pojazdem jest opracowanie algorytmu jego szybkiej i precyzyjnej lokalizacji. Pomiary absolutne przemieszczenia w oparciu o czujniki drogi mogą być stosowane na stosunkowo krótkich odcinkach ponieważ powstające błędy pomiaru sumują się w czasie. Jedną z metod wspomagania układu lokalizacji jest stosowanie dalmierzy laserowych 2-D lub czujników ultradźwiękowych. Jednak dalmierze laserowe umożliwiają osiągnięcie większych zakresów i większej dokładności pomiaru [3].

Zwykle dwa kolejne pomiary dalmierzem laserowym (skany) są dopasowywane do siebie w celu wyznaczenia względnego przemieszczenia. Algorytmy obliczeniowe (dopasowujące skany) mogą być klasyfikowane wg przyjętej metody (np. dopasowanie punktów, cech). W większości metod dopasowania punktów, zwykle dwa skany porównywane są bezpośrednio, wymaga to bardziej złożonych algorytmów obliczeniowych niż w metodach wyznaczania cech. W proponowanym rozwiązaniu zaproponowano zastosowanie metody wyznaczania cech z zastosowaniem zaproponowanego w [4] algorytmu do wydobywania cech. Główną ideą tej metody jest realizacja dopasowania cech wydzielonych dwóch kolejnych skanów, tak aby określić ich kowariancję w celu dokładnego oszacowania przemieszczenia. Analizując źródła błędów, które wpływają na proces estymacji przemieszczenia, odpowiednie niepewności są określane dla każdej cechy wyodrębnionej ze skanu. Wprowadzając te niepewności do algorytmu oszacowania przemieszczenia otrzymujemy bardziej precyzyjne wyniki obliczeń. Otrzymywane cechy można podzielić na dwie grupy:

- cechy odzwierciedlające uskok krawędzi;
- cechy odzwierciedlające narożniki wykryte podczas skanowania.

Dane otrzymywane ze skanera można zapisać w postaci:

$$S = (p_i)_{i=1, \dots, n} \quad (1)$$

gdzie: $p_i = [d_i, \theta_i]^T$

d, θ - współrzędne biegunowe j -tego punktu

W celu wykrycia krawędzi w skanie S , jego poszczególne punkty dzielone są na klastry zawierające kolejne punkty z pomiarów w naturalnym porządku. W związku z czym każda cecha zawiera punkt startowy p_i i punkt końcowy p_j gdzie $i < j$ a cluster jest definiowany jako

$$c_k = \{p_m \mid p_m \in S, \quad i \leq m \leq j\} \quad (2)$$

Procedura tworzenia klastrów jest następująca:

$p_i \in c_i$ i dla wszystkich punktów w skanie odległość:

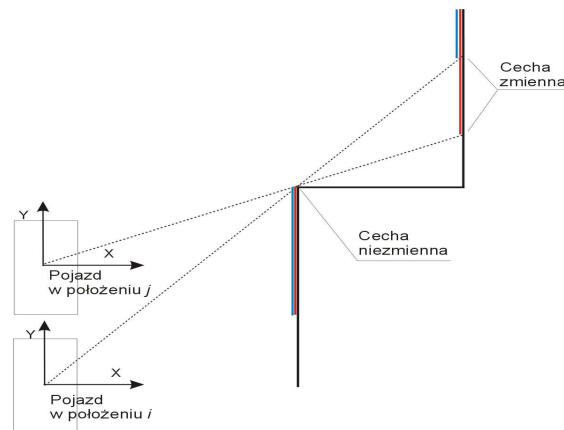
$d_i = \|p_{i+1} - p_i\|$ jest określona, wówczas

$$p_{i+1} \in c_k \quad \text{jeżeli} \quad (p_i \in c_k, \quad d_i \leq d_m) \quad (3)$$

$$p_{i+1} \in c_{k+1} \quad \text{jeżeli} \quad (p_i \in c_k, \quad d_i > d_m) \quad (4)$$

gdzie: d_m - maksymalna odległością pomiędzy kolejnymi punktami w klastrze

Początek i koniec każdego klastra mogą tworzyć szukaną cechę. Z drugiej strony wszystkie cechy muszą być niezmiennie w odniesieniu do przemieszczającego się pojazdu. Tylko niezmiennie (stałe) punkty są wiarygodne dla selekcjonowania jako cecha (rys. 4).



Rys. 4. Wyznaczanie cech niezmiennych w otoczeniu pojazdu bezzatłogowego

Dlatego odpowiednie cechy można wybrać stosując poniższy algorytm:
Dany jest punkt p_i (początek lub koniec klastra k_k) jeżeli:

$$|\theta_i - \theta_{i-1}| < \theta_r \quad \text{i} \quad r_i > r_{i-1} \quad \text{i} \quad p_i \text{ jest początkiem } k_k \quad \text{to } p_i \text{ nie jest cechą}$$

$|\theta_i + 1 - \theta_1| < \theta_r$ i $r_i > r_{i+1}$ i p_i jest końcem k_k to p_i nie jest cechą
w przeciwnym przypadku p_i jest cechą

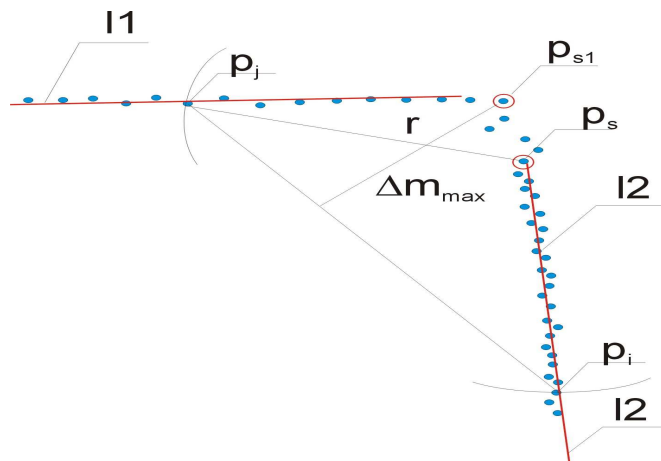
Druga klasa cech odpowiada narożnikom wewnątrz klastrów. Można ją określić dokonując segmentacji klastrów. W tym celu należy dokonać linearyzacji wyników pomiarów podając równania prostych na których leżą wybrane grupy punktów pomiarowych.

Odcinek możemy opisać:

$$l_k = [\alpha_k, n_k, \bar{k}] \quad (5)$$

gdzie: α - kąt pomiędzy odcinkiem a osią Ox ,
 n - liczba punktów w odcinku;
 \bar{k} - długość odcinka

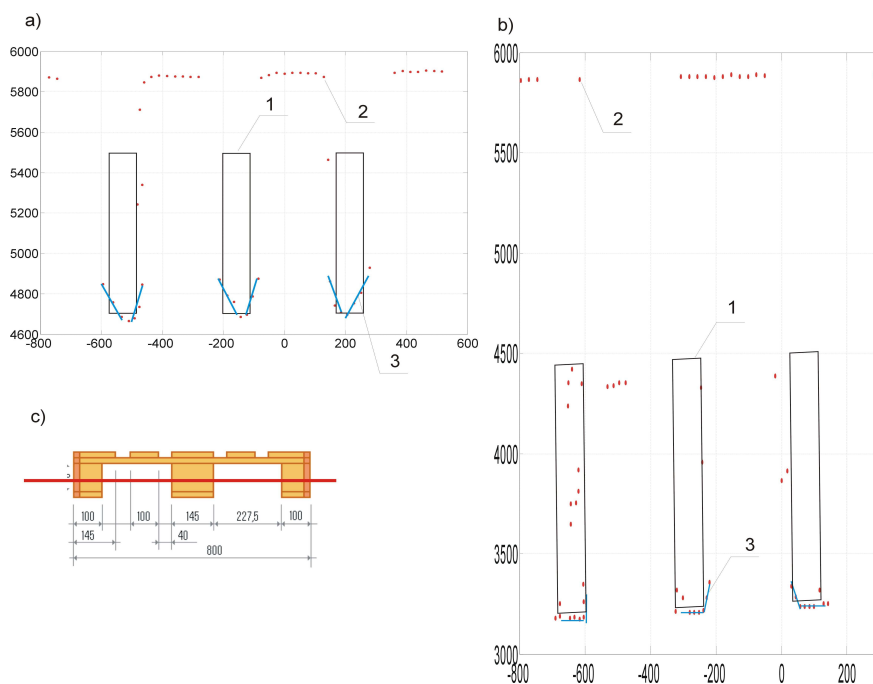
Punkt przecięcia dwóch kolejnych linii l_1 i l_2 jest punktem wyznaczającym narożnik. Punkt p_s nie musi być dokładnym narożnikiem. Dlatego zastosowano algorytm wyznaczania narożnika w oparciu o lokalną informację wokół punktu p_s .



Rys. 5. Wyznaczanie narożnika na podstawie danych z dalmierza laserowego (opis w tekście)

Wybór dwóch punktów p_i i p_j , których odległość od p_s wynosi r . Gdzie r jest proporcjonalne do długości l_1 i l_2 . Punkty p_i i p_j są połączone prostą i dla wszystkich punktów skanu pm leżących między p_i i p_j $i < m < j$ wyznaczana jest odległość Δm do prostej. Punkt którego odległość jest największa oznaczany jest jako p_{s1} . Jeżeli $p_{s1} = p_s$ procedura jest zakończona i p_s jest wyznaczony jako cecha „narożnik”. W przeciwnym przypadku przyjmujemy jako p_s punkt p_{s1} zmniejszana jest wartość r i procedura jest wykonywana ponownie.. W wyniku obliczeń każda cecha „narożnik” jest określana przez $[p_s, \alpha_{l_1}, \alpha_{l_2}]$, gdzie α_{l_1} i α_{l_2} kąty kolejnych linii tworzących kąt.

W celu doświadczalnej weryfikacji przyjętej metody wyznaczania położenia pojazdu na podstawie segmentacji cech z danych otrzymywanych z dalmierza laserowego wykonano eksperyment polegający na skanowaniu palety umieszczonej przed dalmierzem a następnie wyznaczeniu cech na podstawie zarejestrowanych danych. Na rys. 6a przedstawiono wyniki obliczeń wyznaczania cech przy skanowaniu palety umieszczonej 4,7 m przed skanerem, natomiast na rys. 6b dla palety umieszczonej 3,2 m przed skanerem.



Rys. 6. Wyznaczanie cech na podstawie danych ze skanowania palety: 1 - skanowana paleta; 2 - dane pomiarowe; 3 - wyznaczanie cech z danych łączonych w klasty

4. WNIOSKI

Opracowana koncepcja przyczepy z widłowym systemem załadunku i wyładunku, stanowić będzie wyposażenie pojazdu wysokiej mobilności i charakteryzuje się następującymi własnościami:

- wymiary przyczepy nie przekraczają skrajni drogowej – szerokość przyczepy: 2,08m i wysokość w położeniu transportowym: 1,7m,
- wysokość podejmowanych ładunków z platform o wysokości od 1,4 do 1,6m,
- transport ładunku odbywa się pomiędzy kołami, w wyniku czego środek ciężkości znajduje się nisko, oraz jest zachowana duża stateczność poprzeczna,

- układ bieżny zapewnia przyczepie wraz z ładunkiem niską wartość nacisków zapewniając dobre pokonywanie terenu, oraz spełnienie przepisów ruchu drogowego dotyczących nacisków na jedną oś.

Analiza teoretyczna i wyniki wstępnych badań doświadczalnych wykazały, że opisany system wspomagania operatora podczas załadunku palet może być zbudowany w oparciu o dane z dalmierza laserowego. Podczas dalszych prac należy dążyć do opracowania algorytmów analizy danych i wyznaczania cech w czasie rzeczywistym oraz budowy systemu skanowania w oparciu o układ skanowania o zmiennej orientacji względem pojazdu.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Krupowicz A.: *Metody numeryczne zagadnień początkowych równań różniczkowych zwyczajnych*, Warszawa, PWN 1986.
- [1] Stahn R., Heiserich G., Stopp A.: *Laser Scanner-Based Navigation for Commercial Vehicles*, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Istambul, 2007.
- [2] Aghamohammadi A. A., Taghirad H. D., Tamjidi, E. Mihankhah A. H.: *Feature Based Laser Scan Matching For Accurate and High Speed Mobile Robot Localization*, 3rd European Conference on Mobile Robots, Freiburg, Germany 2007.
- [3] Typiak A., Łopatka M.: *Koncepcja pojazdu transportowego o wysokiej mobilności*, VI Konferencja Naukowo – Techniczna LOGITRANS, Szczyrk 2009.
- [4] Typiak A.: *Terrain Mapping Method for Fast Mobile Vehicle*, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 17, No 3C. 2008.