

*Ladar, analiza obrazów, wykrywanie przeszkód,
pojazd bezzałogowy, wskaźniki przejezdności terenu*

Adam BARTNICKI¹
Andrzej TYPIAK¹

WYKORZYSTANIE WSKAŹNIKÓW PRZEJEZDNOŚCI TERENU W STEROWANIU POJAZDEM BEZZAŁOGOWYM

W referacie przedstawiono strukturę systemu sterowania bezzałogowego pojazdu wsparcia misji ratowniczych. Opisano system nawigacji pojazdu w oparciu o wskaźniki przejezdności terenu. Wskaźniki te dla przyjętych zakresów nawigacji (lokalnego, regionalnego i globalnego) przedstawiono w oparciu o elementy logiki rozmytej.

USING TRAVERSABILITY INDICES FOR CONTROL OF AN UNMANNED VEHICLE

The structure of the control system of an unmanned vehicle rescue mission support is presented in this paper. Also a vehicle navigation system based on index of traversability is described. These indices for the assumed range navigation (local, regional and global) are presented based on the elements of fuzzy logic.

1. WSTĘP

Istnieją dwa zasadniczo różne podejścia do nawigacji pojazdów bezzałogowych, jedno, bazujące na sygnałach z czujników rozpoznania otoczenia, drugie na danych z mapy terenu. Systemy nawigacji oparte na czujnikach umożliwiają wykrywanie lokalnych lub regionalnych zagrożeń, mają niskie wymagania obliczeniowe i są predysponowane do zastosowania w środowisku o małej dynamice zmian. Ponadto nie posiadają one wiedzy a priori o środowisku a pochodząca od nich informacja podaje stan otoczenia w danej chwili. Z drugiej strony, systemy nawigacji działające wyłącznie na podstawie map są w stanie skutecznie wykorzystać informacje globalne o terenie. Wymagają one jednak bardzo dokładnej informacji o lokalizacji pojazdu w stosunku do mapy i często są mało efektywne do wyznaczania trasy w czasie rzeczywistym.

Istotnym zagadnieniem jest zatem zaprojektowanie zaawansowanego systemu nawigacji, który umożliwi przemierzanie dużych odległości w nierozpoznanym terenie przy jednoczesnym uniknięciu wszystkich monitorowanych i oznaczonych w terenie zagrożeniach. Wymaga to wyposażenia pojazdu w następujące elementy:

1. czujniki krótkiego zasięgu (wykrywanie lokalnych zagrożeń);
2. czujniki dalekiego zasięgu (klasyfikacja przejezdności terenu);

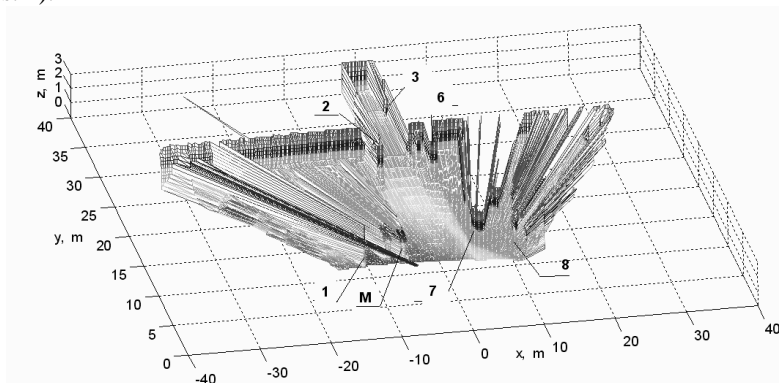
¹Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny; 00-908 Warszawa; ul. Kaliskiego 2.
tel.+48 22 683-93-88, Fax +48 22 683-72-11, e-mail: atypiak@wat.edu.pl, abartnicki@wat.edu.pl

3. mapę topograficzną terenu zawierającą główne cechy powierzchni;
4. układ lokalizacji pojazdu;
5. położenie celu.

W przeciwieństwie do robotów poruszających się wewnątrz pomieszczeń dla których otoczenie może być określone w sposób binarny, pojazdy bezzałogowe poruszają się w środowisku trudnym do jednoznacznego zdefiniowania. Dlatego do wyznaczania parametrów opisujących otoczenie pojazdu bezzałogowego zastosowano elementy logiki rozmytej [1].

2. WYZNACZANIE WSKAŹNIKA LOKALNEJ PRZEJEZDNOŚCI TERENU

Do wyznaczania „przejezdności lokalnej”, analizowane jest ukształtowanie terenu w bliskiej odległości od pojazdu w promieniu R_1 , gdzie R_1 jest zakresem czujników percepcji lokalnej. Różne cechy wyznaczające przejezdność terenu mogą być wyznaczane. W referacie, główną uwagę zwrócono na wyznaczanie położenia przeszkód terenowych i nośności gruntu. Określenie „lokalna przeszkoda” odnosi się do drzew, murków, dużych kamieni (przeszkoda „pozytywna”), lub głębokich rowów (przeszkoda „ujemna”), których pojazd bezzałogowy nie jest w stanie pokonać. Obecności przeszkód może być wykryta w czasie rzeczywistym przez skanery laserowe i kamery wideo, zamontowane na pojeździe [2, 3] (rys. 1).



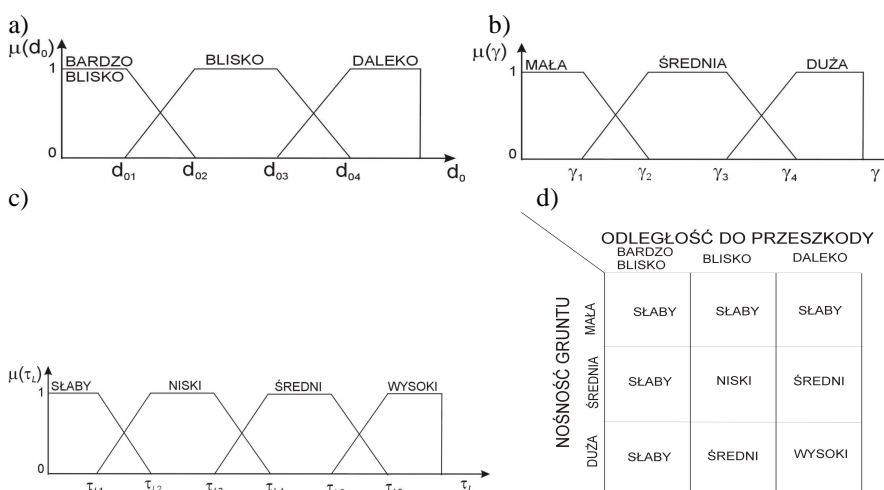
Rys. 1. Obraz otoczenia pojazdu otrzymany poprzez skanowanie terenu: 1-8 – przeszkody terenowe; M – przeszkoda naturalna

Każdy czujnik o zasięgu lokalnym mierzy odległość d_0 , między pojazdem a przeszkodą w zasięgu swego działania, i te informacje są na bieżąco aktualizowane w czasie ruchu pojazdu. Odległość przeszkody jest reprezentowana przez trzy elementy zbioru rozmytego (BARDZO-BLISKO, BLISKO, DALEKO), z trapezowej funkcji przynależności (rys. 2a).

Nośność gruntu bezpośrednio wpływa na zdolność poruszania się pojazdu w terenie. Istnieje kilka metod oceny nośności w pobliżu pojazdu. W pracy przyjęto metodę określenia nośności, opartą na wizualnej analizie tekstury [2, 3].

Wyznaczona nośność terenu opisywana jest przez trzy-elementowy zbiór rozmyty γ , którego elementy {MAŁA, ŚREDNIA, DUŻA} opisane są trapezową funkcją przynależności (rys. 2b).

Charakterystyka lokalnej przejezdności terenu wyznaczana jest w oparciu o dane w zakresie odległości przeszkody i nośności gruntu, informacje te są określane za pomocą jednego wskaźnika lokalnej przejezdności τ_L . Wskaźnik ten jest reprezentowany przez cztero-elementowy zbiór rozmyty {SŁABY, NISKI, ŚREDNI, WYSOKI}, z trapezowej funkcji przynależności (rys. 2c). Metoda wyznaczania wskaźnika lokalnej przejezdności terenu na podstawie odległości do przeszkody i nośności gruntu przedstawiona jest na rys. 3d. Dokładny pomiar na odległość przeszkody i nośności gruntu nie wymagany, ze względu na opisowy charakter elementów funkcji rozmytych.



Rys. 2. Wyznaczenie wskaźnika lokalnej przejezdności terenu: a – funkcja odległości przeszkody; b – funkcja nośności gruntu; c – wskaźnik przejezdności terenu; d – wyznaczenie wskaźnika przejezdności terenu

3. WYZNACZANIE WSKAŹNIKA REGIONALNEJ PRZEJEZDNOŚCI TERENU

Regionalna przejezdność terenu obejmuje strefę w odległość R_r , od pojazdu, gdzie R_r jest zasięgiem czujników regionalnych zamontowanych na pojeździe. Fizyczne i geometryczne właściwości segmentacji terenu w tej strefie określają możliwość jego pokonania przez pojazd bezzałogowy. Najważniejsze cechy rozpatrywane w tym terenie to pochylenie terenu i rodzaj powierzchni. Te dwie cechy są wyodrębniane z danych uzyskanych z obrazów kamer stereo zamontowanych na pojeździe, jak opisano w [1].

Pochylenie terenu może być określone na podstawie obrazów sceny uzyskanych przez system stereowizji zamontowany na pojeździe [3]. Zwykle wyznacza się jako nachylenie płaszczyzny, geometrycznie odwierciedlającej teren wyznaczonej metodą najmniejszych kwadratów. Pochylenie jest reprezentowane przez cztero-elementowy zbiór rozmyty {PŁASKI, POCHYŁY, NACHYLONY, STROMY} (rys. 3).

		POCHYLENIE TERENU			
		PLASKI	POCHYŁY	NACHYLONY	STROMY
RODZAJ POWIERZCHNI	GŁADKA	WYSOKA	WYSOKA	ŚREDNIA	BRAK
	WYBOISTA TRAWIASTA	WYSOKA	ŚREDNIA	NISKA	BRAK
	KAMIENISTA KRZACZASTA	ŚREDNIA	NISKA	NISKA	BRAK
	ZADRZE- WIONA	BRAK	BRAK	BRAK	BRAK

Rys. 3. Wyznaczenie wskaźnika regionalnej przejeźdności terenu

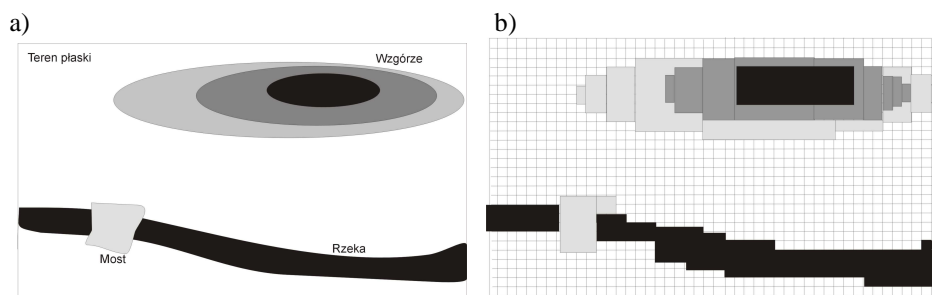
Rodzaj powierzchni też wyznaczany jest na podstawie analizy obrazów wideo i określa się za pomocą czteroelementowego zbioru rozmytego {GŁADKA, WYBOISTA/TRAWIASTA, KAMIENISTA/KRZACZASTA, ZADRZEWIONA}. Metoda wyznaczania wskaźnika regionalnej przejeźdności terenu τ_R na podstawie pochylenia terenu i rodzaju powierzchni przedstawiona jest na rys. 3.

4. WYZNACZANIE GLOBALNEGO WSKAŹNIKA PRZEJEŹDNOŚCI TERENU

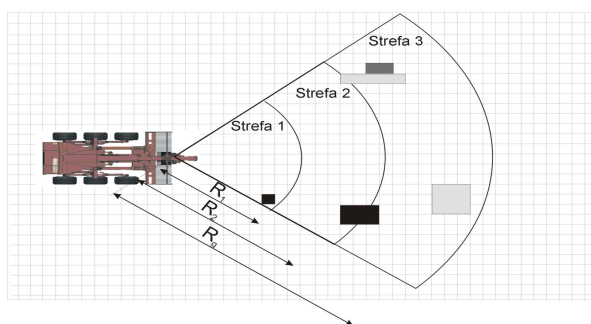
W poprzednich częściach, przedstawiono analizę lokalnych i regionalnych przejeźdności terenu wyznaczonych na podstawie pokładowych czujników pojazdu. W tej sekcji, omówiono metodę wyznaczania przejeźdności terenu[1] opierającą się na danych z mapy. Pozwala ona wyznaczać przejeźdność terenu w ujęciu globalnym poza zasięgiem czujników pojazdu. Teren przed pojazdem dzielony jest na segmenty, które są klasyfikowane pod kątem stopnia trudności jego pokonania przez pojazd. Proces realizowany jest w dwóch etapach. Najpierw odbywa się identyfikacja istotnych elementów topograficznych terenu (np. wąwozy, góry i doliny) zaobserwowanych na zdjęciach lotniczych lub otrzymanych z rozpoznania terenu (rys. 4a). Następnie obszar mapy dzielony jest na segmenty, którym przypisywane są poziomy przejeźdności terenu z czteroelementowego zbioru rozmytego {BRAK, NISKA, ŚREDNIA, WYSOKA}.

Wygodną reprezentacją mapy przejeźdności jest siatka przejeźdności terenu. Uzyskuje się ją poprzez nałożenie siatki o wymiarach $m \times n$ na mapę terenu i przypisanie każdej komórce wskaźnika przejeźdności o wartości minimalnej ze wszystkich wskaźników elementów topograficznych znajdujących się w obszarze danej komórki (rys. 4b).

Na podstawie zbudowanej siatki przejeźdności terenu wyznaczany jest globalny wskaźnik przejeźdności terenu. Teren przed pojazdem bezzałogowym dzielony jest na półkoliste sektory o promieniach R_1 , R_2 i R_g , o środku będącym bieżącą pozycją pojazdu. Głównymi czynnikami wpływającymi na wybór promieni są: rozdzielczości mapy, rozmiary pojazdu i dokładność lokalizacji pojazdu (rys. 5).



Rys. 4. Budowa mapy przejezdności terenu: a – wyodrębnienie istotnych elementów topograficznych; b – budowa siatki przejezdności terenu



Rys. 5. Wyznaczanie globalnego wskaźnika przejezdności terenu

Na podstawie koncentracji komórek o określonych wartościach poziomów przejezdności wyznacza się wskaźnik przejezdności dla danej strefy τ_s . Na podstawie wskaźników przejezdności trzech stref (τ_{s1} , τ_{s2} , τ_{s3}) obliczany jest globalny wskaźnik przejezdności dla całego sektora:

$$\tau_g = \frac{w_1 \tau_{s1} + w_2 \tau_{s2} + w_3 \tau_{s3}}{w_1 + w_2 + w_3} \quad (1)$$

gdzie: w_1 , w_2 , w_3 – wskaźniki określające wagę istotności danej strefy dla wyznaczenia trasy pojazdu.

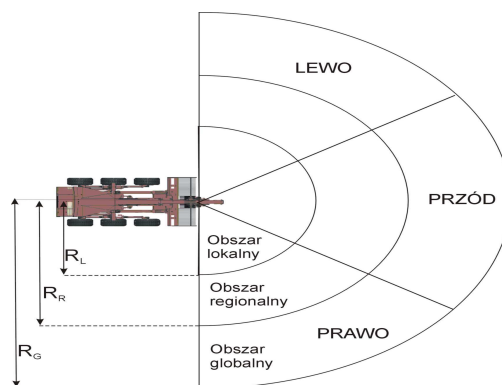
5. WNIOSKI

W referacie przedstawiono kluczowe zagadnienia dotyczące nawigacji pojazdów bezzałogowych. Większość istniejących metod nawigacji koncentruje się głównie na omijaniu lokalnych przeszkód, przesyłając globalną informację o terenie do sterownika wyższego poziomu planującego trasę pojazdu. Proponowana metoda łączy w sobie różne źródła informacji o terenie na poziomie lokalnym, regionalnym i globalnym w procesie nawigacji. Informacja z różnych źródeł jest integrowana tworząc kompletny system nawigacyjny.

Analiza przejeźdności terenu ujmuje wiele wskaźników terenu w trzech zakresach. Definicje lokalnych, regionalnym i globalnych zakresów zależą od parametrów pojazdu, zakresu czujników pokładowych, oraz rozdzielczości mapy terenu.

Mapa i siatka przejeźdności terenu umożliwiają otrzymywanie informacji z obszarów poza zakresem czujników pokładowych. Zapewniają one informacje zarówno o obszarach dostępnych jak też nieprzejeźdnych. Jednak, podobnie jak w innych metodach, opartych na danych z mapy wymagana jest dokładna lokalizacja pojazdu względem terenu.

Obecne badania koncentrują się na realizacji i badaniach opisanej metody, oraz jej implementacji do systemu sterowania pojazdem oparciu o wskaźniki przejeźdności do poruszania się w środowisku naturalnym. Zakłada się, że pojazd będzie poruszać się tylko do przodu, teren przed pojazdem będzie jest podzielony na trzy grupy sektorów (rys. 6).



Rys. 6. Nawigacja pojazdem bezałogowym w oparciu lokalny, regionalny i globalny wskaźnik przejeźdności terenu

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Seraji H.: Fuzzy Traverability Index: A new concept for terrain based-navigation. Journal of Robotics Systems No 17/2000, p. 75-91.
- [2] Typiak A.: Zastosowanie dalmierza laserowego do wyznaczania położenia obiektów w otoczeniu bezałogowego pojazdu lądowego. Biuletyn WAT nr 3, Warszawa 2006, s. 59-76.
- [3] Typiak A.: Terrain Mapping Method for Fast Mobile vehicle. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 16 No 4B, 2007, p. 57-78.
- [4] Typiak A., Konopka S., Bartnicki A., Typiak R.: Teleoperated Control System for Unmanned Ground Vehicle. NATO RTO Symposium "Intelligent Uninhabited Vehicle Guidance Systems". Neubiberg/Munich, Germany 30 June – 2 July 2009. RTO SCI 202.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach **2008-2010** jako projekt rozwojowy Nr OR 00 0012 06