

# OPRACOWANIE UKŁADU DO AUTONOMICZNEGO WYZNACZANIE TORU JAZDY BEZZAŁOGOWEGO POJAZDU LĄDOWEGO<sup>1</sup>

Andrzej TYPIAK

Instytut Budowy Maszyn, Wydział Mechaniczny  
Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, Polska  
tel. (22) 683 93 88, e-mail typiak@wme.wat.edu.pl

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono strukturę systemu autonomicznego wyznaczania trasy przejazdu Bezzałogowego Pojazdu Lądowego. Opisano zadania głównych jego układów ze szczególnym uwzględnieniem systemu rozpoznania otoczenia. Następnie zaprezentowano wyniki badań doświadczalnych zastosowania dalmierza laserowego do tworzenia mapy otoczenia pojazdu.

**Słowa kluczowe:** pojazd autonomiczny, dalmierz laserowy, rozpoznanie otoczenia.

## STUDY OF SYSTEM FOR AUTONOMOUS DETERMINING A PATH OF UNMANNED GROUND VEHICLE

Summary. This paper presents a structure of an autonomous system for determining a path of an Unmanned Ground Vehicle. The main tasks of its elements with a special emphasis on surroundings recognition system are being described. Next, research results of using a laser telemeter for creating of vehicle surrounding's map are being presented.

Key words: autonomous vehicle, laser telemeter, surroundings recognize.

### 1. WPROWADZENIE

Nieuchronna informatyzacja pola walki – wynikająca z założeń programu Future Combat System (FCS) – z jednej strony a rosące zagrożenie działaniami terrorystycznymi z drugiej, wymusza rozwój pojazdów i maszyn realizujących swe zadanie bez bezpośredniego udziału człowieka. Szeroką prezentację wyzwań z tej grupy wielokrotnie przedstawiano w

---

<sup>1</sup> Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2004 – 2007 jako projekt badawczy

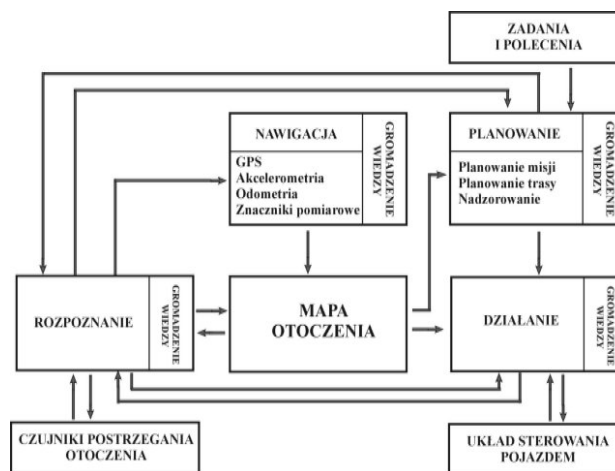
literaturze [2,6,7,8,9], natomiast w aspekcie naukowym problematyka ta jest rozwijana w konferencyjnych publikacjach zarówno krajowych jak i zagranicznych [1,3,4,5]. Jednakże, wszystkie przedstawione rozwiązania należy ciągle uważać za demonstratory technologii lub prototypy doświadczalne. Wyjątek stanowią mobilne, zdalnie sterowane roboty interwencyjno-rozpoznawcze – stosowane przez służby bezpieczeństwa (policja, antyterroryści, ochrona portów lotniczych). Ich działania należy określić jako realizację ściśle określonych zadań, składających się ze stosunkowo prostych czynności – przy jednoczesnym dobrym lub bardzo dobrym rozpoznaniu otoczenia i pełnej wymianie informacji pomiędzy robotem a stanowiskiem sterowania. Przyszłe zadania i warunki działania dla bezzałogowych (zdalnie sterowanych lub autonomicznych) maszyn i pojazdów, daleko wybiegają poza aktualne możliwości technologiczne.

## 2. SYSTEMU AUTONOMICZNEGO WYBORU TRASY DLA BEZZAŁOGOWEGO POLAZDU LĄDOWEGO

W Instytucie Budowy Maszyn są prowadzone prace nad opracowaniem układu zdalnego sterowania pojazdem, wyposażonym w elementy autonomiczności. Dla zapewnienia zachowań autonomicznych opracowano, na podstawie badań własnych i studiów literaturowych [8,9,10] koncepcję systemu zapewniającego autonomiczne działanie BPL. Strukturę funkcjonalną i powiązania głównych elementów systemu przeznaczonego do autonomicznego wyznaczania trasy przejazdu BPL przedstawiono na rys. 1. Jego zadaniem jest wypracowanie - na podstawie otrzymanych zadań i danych o otoczeniu - poleceń dla układu sterowania pojazdem. Wszystkie elementy opracowanego systemu - z wyjątkiem czujników - są układami programowymi zaimplementowanymi w jednostce sterującej o dużej mocy obliczeniowej.

Układ postrzegania pobiera dane z czujników rozpoznania otoczenia i tworzy obraz otoczenia pojazdu zwany mapą otoczenia. Zawartość mapy musi być wystarczająca do zapewnienia osiągnięcia przez pojazd założonego celu. W skład układu wchodzi moduły oprogramowania o różnych poziomach przetwarzania. Od funkcji segmentacji cech w obrazie za pomocą zależności geometrycznych, wyodrębniania kolorów itp. (niski poziom przetwarzania) do klasyfikacji obiektów (najwyższy poziom przetwarzania). Układ postrzegania powinien mieć możliwość doboru czujników i parametrów ich pracy w celu optymalizacji swoich obliczeń, oraz realizacji poleceń z układów planowania i działania dotyczących szczegółowego rozpoznania wybranego obszaru lub kierunku w terenie.

Układ nawigacji przeznaczony jest do wyznaczania aktualnego położenia i orientacji pojazdu we współrzędnych geodezyjnych. Powinien też dokonywać konwersji danych z czujników, z układu współrzędnych pojazdu do współrzędnych globalnych. Układ nawigacji powinien bazować na różnorodnych układach pomiarowych: GPS, akcelerometria, odometria itp., wyznaczając położenie na ich podstawie niezależnie lub łącznie, w oparciu o metody filtracji i agregacji informacji. Nawigacja w oparciu o znaczniki pomiarowe – będąca najefektywniejszą ze stosowanych metod - może być wykorzystywana w sytuacji, gdy będą one mogły być jednoznacznie lokalizowane przez system postrzegania.



Rys. 1. Struktura systemu autonomicznego wyznaczania trasy pojazdu bezzałogowego

Układ planowania trasy powinien posiadać budowę hierarchiczną. Moduł planowania misji będzie wyznaczał cel, następnie moduł planowania trasy bazując na mapie a priori i dodatkowych danych będzie wyznaczał trasę, która powinna być cyklicznie sprawdzana podczas przejazdu pojazdu przez moduł nadzorowania. Na podstawie informacji z układów nawigacji i mapy otoczenia moduł planowania misji będzie mógł dokonywać wyboru rodzaju wykorzystywanych czujników rozpoznania otoczenia i ustalać parametry ich działania.

Układ działania przeznaczony jest do generowania sygnałów dla układu sterowania pojazdem. Jego zadaniem będzie przeprowadzanie analizy sygnałów odbieranych z układów postrzegania, planowania i mapy otoczenia i na podstawie algorytmów zachowań pojazdu wypracowywanie poleceń dla sterownika pojazdu. Ponadto będzie on zawierał algorytmy taktyki i techniki określonych zachowań pojazdu w zależności od rodzaju wykonywanego zadania.

Występujące w opisanych układach podsystemy gromadzenia wiedzy są przeznaczone do poprawy działania algorytmów sterujących poprzez zdobywanie przez system

„doświadczenia”. Będą one nakierowane na takie przypadki zachowań, które nie zostaną przewidziane podczas opracowywania systemu. Gromadzenie wiedzy (nauka) nie będzie układem wyodrębnionym w systemie lecz będzie stanowił integralną część poszczególnych układów.

### 3. DOBÓR CZUJNIKÓW DLA UKŁADU ROZPOZNANIA OTOCZENIA

Jednym z podstawowych czynników prawidłowego wykonania zadania przez układ postrzegania jest właściwy dobór czujników rozpoznania otoczenia. Przy ich doborze należy uwzględnić następujące prawidłowości:

1. Nie istnieje jeden uniwersalny czujnik – należy dokonać doboru wieloelementowego czujnika opartego o różne metody pomiarowe, umożliwiającego zastosowanie metodyki pomiaru najkorzystniejszej dla danych warunków wykonywania pomiaru.

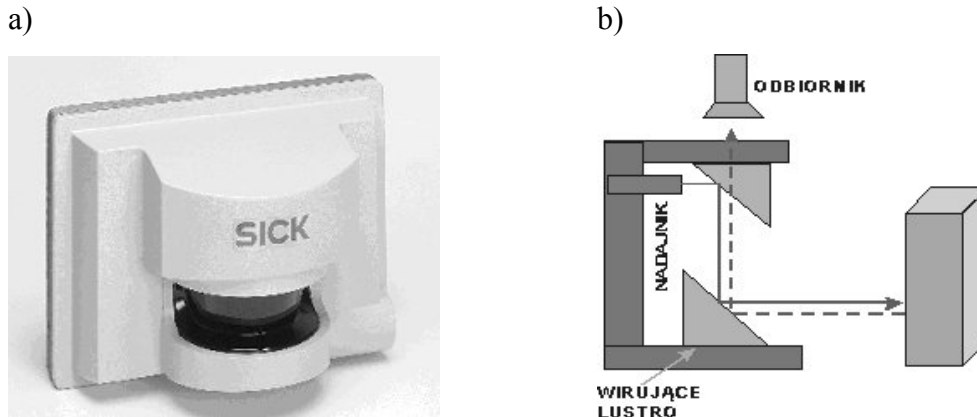
2. Dobór czujników o pokrywających się możliwościach zapewni redundantność systemu, zwiększając dopuszczalną tolerancję błędu pomiarowego, oraz zwiększy wymagany stosunek sygnał/szum poprzez wykorzystanie danych z kilku czujników.

3. Minimalizacja liczby rodzajów stosowanych czujników ułatwi ich obsługę i opracowywanie wyników pomiarów. Korzystnym rozwiązaniem może być stosowanie czujników dających szerokie spektrum informacji. Należy natomiast ograniczać liczbę czujników przystosowanych do wykonywania specjalizowanych pomiarów w specyficznych warunkach.

Do najpowszechniej stosowanych czujników umożliwiających lokalizowanie obiektów w otoczeniu pojazdów mobilnych należą między innymi: skanery laserowe 3-D, kamery video (w tym zestawy stereowizyjne) i termalne oraz radary mikrofalowe. Najdogodniejszym narzędziem do tworzenia trójwymiarowych map terenu jest skaner laserowy 3-D. Jednakże ze względu na wysoką cenę, nie jest powszechnie stosowany. Podejmowane są natomiast próby wykorzystania skanowania terenu dalmierzem laserowym 2-D do wyznaczania odległości obiektów od pojazdu, a następnie określenia możliwości przestrzennego zobrazowania otoczenia [4,10].

W celu sprawdzenia możliwości zastosowania dalmierza laserowego 2-D do lokalizowania przeszkód w otoczeniu pojazdu, przeprowadzono jego badania laboratoryjne i terenowe. Do badań wykorzystano dalmierz LMS 211 firmy SICK (rys. 2). W czasie badań mierzono: szybkość transmisji, stabilność pomiarów w czasie oraz zdolność wyznaczania wymiarów przedmiotów o różnych kształtach [3,11].

Jednym z czynników decydujących o możliwości stosowania skanera do sterowania pojazdem w czasie rzeczywistym jest szybkość transmisji danych pomiarowych. Przy skanowaniu terenu w zakresie  $180^\circ$ , z rozdzielczością co  $1^\circ$  czas skanowania wynosi 13,3 ms, ramka sygnału ma długość 372 bitów i maksymalny czas jej transmisji wynosi 7,4 ms. Pozwala to na prawidłową i niezakłóconą transmisję danych ze wszystkich wykonanych pomiarów.



Rys. 2. Skaner laserowy LMS 211: a - widok ogólny; b - zasada wykonywania pomiarów

Badania terenowe prowadzone były w celu wyznaczenia przestrzennego obrazu otoczenia pojazdu z zamontowanym dalmierzem laserowym. Skanowanie terenu wykonano za pomocą dalmierza, zamontowanego pojeździe pochylonego pod stałym kątem do poziomu  $\beta = -150$ . Jako teren badań wybrano wjazd do wnętrza garażu wraz z przyległym terenem. Pojazd przemieszczał się od punktu A (rys. 3a) na odległość 40 m w głąb garażu, wyniki pomiarów rejestrowano co 1m.

W celu otrzymania przestrzennej wizualizacji otoczenia pojazdu przetworzono - otrzymane w wyniku skanowania - współrzędne obiektów z układu związanego z dalmierzem laserowym do współrzędnych w układzie globalnym (rys. 4)

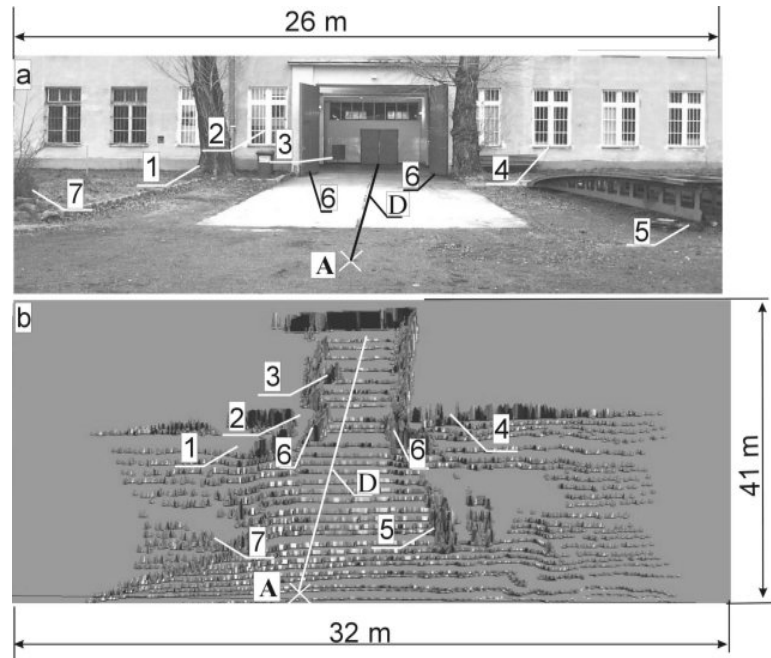
$$\vec{l}_g = T_l^g \vec{l}_l \quad (1)$$

gdzie:  $\vec{l}_g = (x_g, y_g, z_g)^T$  – współrzędne obiektów w układzie geodezyjnym,  $\vec{l}_l = (x_l, y_l, z_l)^T$  – współrzędne obiektów we współrzędnych dalmierza laserowego,  $T_l^g$  – macierz transformacji układu współrzędnych dalmierza do globalnego układu współrzędnych.

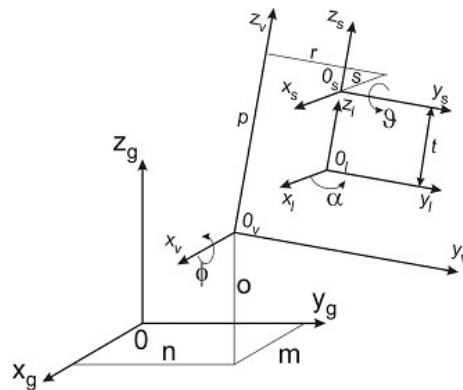
Współrzędne geodezyjne obiektów zarejestrowanych przez dalmierz wyznaczano na podstawie zależności

$$\begin{pmatrix} x_g \\ y_g \\ z_g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l \cos \varphi \cos \alpha + t \sin \vartheta + s + m \\ l \cos \varphi \sin \alpha + l \sin \varphi \sin \varphi \cos \alpha - p \sin \varphi + r \cos \varphi - t \sin \varphi \cos \vartheta + n \\ l \sin \varphi \cos \alpha - l \cos \varphi \sin \varphi \cos \alpha + p \cos \varphi + r \sin \varphi + t \cos \varphi \cos \vartheta + o \end{pmatrix} \quad (2)$$

gdzie:  $l$  – zmierzona odległość obiektu od dalmierza;  $\alpha$  – kąt pomiędzy wiązką laserową a osią  $x_l$ .



Rys. 3. Badania wyznaczania położenia obiektów w otoczeniu przemieszczającego się pojazdu: a – widok terenu badań; b – obraz otoczenia wyznaczony na podstawie danych z dalmierza laserowego; 1 – drzewo; 2 – okno; 3 – przeszkoda wewnątrz garażu; 4 – okno; 5 – przęsło mostu; 6 – brama; 7 – krzewy; A – punkt rozpoczęcia pomiarów; D – trasa po której przemieszczał się pojazd z dalmierzem



Rys. 4. Schemat transformacji współrzędnych dalmierza do globalnego układu współrzędnych

Następnie wykonano mapę wysokościową zarejestrowanych obiektów. Mapę tą utworzono dokonując podziału badanego terenu na  $i \times j$  obszarów o wymiarach 25 mm na 25 mm a następnie wyszukując obiekty o największej wysokości w analizowanym obszarze zgodnie z zależnością

$$h^{k+1}(i, j) = \begin{cases} z_n^{k+1} & \text{gdy } |z_n^{k+1}| \geq |h^k(i, j)| \\ h^k(i, j) & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases} \quad (3)$$

gdzie:  $z_n^{k+1}$  – współrzędna pionowa punktu wyznaczona na podstawie pomiarów,  $h^k(i, j)$  – przyjęta wysokość przeszkody w obszarze  $i, j$  w  $k$ -tym kroku obliczeniowym,  $h^{k+1}(i, j)$  – przyjęta wysokość przeszkody w obszarze  $i, j$  w  $k + 1$  kroku obliczeniowym.

Analizowanemu obszarowi przypisywano wysokość  $h$  równą maksymalnej wartości współrzędnej pionowej z pośród wszystkich punktów zarejestrowanych w analizowanym obszarze. Na rys. 3b przedstawiony jest obraz badanego terenu otrzymany na podstawie przetworzenia danych ze skanowania terenu dalmierzem laserowym, zamontowanym na pojeździe przemieszczającym się od punktu A do wnętrza garażu. Prezentowany obraz otrzymano w wyniku rzutowania w kierunku pionowym do podłoża punktów otrzymanych na podstawie zależności (3).

Przeprowadzone badania wykazały, że skanowanie dalmierzem przemieszczającym się w badanym terenie umożliwia otrzymanie obrazu zawierającego informacje o obiektach nie widocznych z punktu rozpoczynania pomiarów. Ponadto metodą tą można zarejestrować położenie elementów niewidocznych dla oddalonego obserwatora.

#### 4. PODSUMOWANIE

Przedstawiona w referacie struktura systemu autonomicznego wyznaczania trasy dla bezałogowych pojazdów lądowych umożliwi równoległe prowadzenie prac analitycznych i doświadczalnych nad ich rozwojem co może przyspieszyć jego pełne opracowanie. Elementem warunkującym realizację autonomicznego sterowania pojazdami jest całościowe opracowanie wzajemnych powiązań i zależności między poszczególnymi jego elementami .

Wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych wyznaczania położenia obiektów za pomocą dalmierza laserowego wykazały, że tego rodzaju czujniki mogą być wykorzystane do budowy efektywnego systemu wykrywania i lokalizowania obiektów w przestrzeni działania

pojazdu. Przyjęta metoda zobrazowania poprzez pionowe rzutowanie najwyższych punktów z analizowanego obszaru nie odzwierciedla zróżnicowania obiektów w płaszczyźnie poziomej i nie można otrzymanych obrazów nazywać mapami plastycznymi. Można ich jednak z powodzeniem używać do wizualizacji otoczenia, jednoznacznego lokalizowania obiektów w terenie i określenia ich wysokości. Umożliwia to wytyczenie mobilnych korytarzy dla autonomicznego planowania toru jazdy pojazdu bezzałogowego.

### **Literatura**

1. Bartnicki A., Kuczmarski F., Typiak A., Wrona J.: Design control and power transmission unit for unmanned ground vehicles (UGV) 8th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics. Szczecin 2002.
2. Klobuch K.: Czy możliwy jest europejski FCS. RAPORT Wojsko Technika Obronność, Nr 6/02 2002.
3. Konopka S., Kuczmarski F., Typiak A.: Lokalizowanie przeszkód w otoczeniu zdalnie sterowanej maszyny inżynierskiej. Transport Przemysłowy, Nr 4/2004.
4. Konopka S., Kuczmarski F., Siemiątkowska B., Typiak A.: A control system and a system of surroundings recognition for remote controlled vehicles. Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, Nr 8-9/2003.
5. Kuczmarski F., Siemiątkowska B., Typiak A.: A Multi-element System of Surrounding Recognition and Objects Localization for Unmanned Ground Vehicles. 20<sup>th</sup> International Symposium on Automation and Robotics in Construction Eindhoven, Holland September 2003.
6. Likowski M., Łuczak W., Zaloga S.: Armia czasów wojny i transformacji, RAPORT Wojsko Technika Obronność, Nr 11 /03 2003.
7. Łuczak W.: Sekrety francuskiego FCS, RAPORT Wojsko Technika Obronność, Nr 10/03 2003.
8. Out Front in Harm's Way. The US Unmanned Ground Vehicles Programme. Military Technology, Nr 12/2003.
9. Racing Towards Robotics: Signal AFCEA's International Journal, May 2004.
10. Technology Development for Army Unmanned Ground Vehicles. The National Academy of Sciences, USA 2002.
11. Telegrams for Operating/Configuring the LMS 2xx Laser Measurement Systems. SICK AG Auto Ident Ident Nimburger Strasse 11, 79276 Reute, Germany.