

dr inż. ANDRZEJ TYPIAK
Wojskowa Akademia Techniczna

ZASTOSOWANIE KAMERY WIZYJNEJ DO WYZNACZANIA POŁOŻENIA OBIEKTÓW W OTOCZENIU POJAZDU BEZZAŁOGOWEGO

Budowa bezzałogowych pojazdów transportowych wymaga podjęcia i realizacji szerokiego spektrum prac badawczych. Jednym z problemów jest opracowanie systemu sterowania w oparciu o wyznaczanie położenia i odwzorowanie trasy wytypowanego obiektu. W referacie przedstawiono wyniki badań nad zastosowaniem kamery wideo do wyznaczania położenia obiektów w otoczeniu pojazdu bezzałogowego.

USING VIDEO CAMERA FOR OBJECT'S LOCALIZATION IN SURROUNDINGS OF UNMANNED VEHICLE

The growing importance technology based on unmanned systems which allow the usage of highly automated transport types requires a lot of research work on developing it's steering systems. Steering solutions shown in this paper are a base for further work on developing a fully automated unmanned transport platform. Results research using video camera for object's localization in surroundings of unmanned vehicle are presented.

1. WPROWADZENIE

Układy zdalnego sterowania Bezzałogowymi Pojazdami Lądowymi (BPL) w systemie teleoperatora możemy podzielić na dwie grupy:

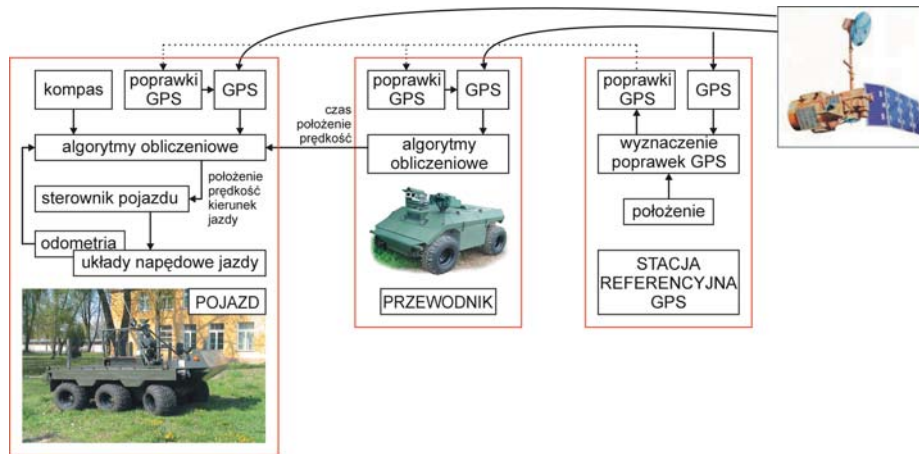
1. Układy kierowane - operator kieruje obiektem będąc na stacjonarnym lub mobilnym stanowisku sterowania za pojazdem. Operator wyznacza kierunek jazdy pojazdu wysyłając sygnały sterujące jego układami (napędowym, kierowniczym) do systemu sterującego pojazdu.
2. Układy nadeżne - operator przemieszczając się w terenie, wysyła do pojazdu sygnały o swoim aktualnym położeniu. System sterujący pojazdu na podstawie informacji o położeniu obu obiektów kieruje pojazd po śladach operatora – przewodnika.

Najpowszechniej stosowanymi systemami sterowania w systemach nadeżnych BPL są systemy oparte o układy nawigacji satelitarnej (GPS), oraz układy wizyjne [4].

Zastosowanie odbiorników GPS w systemach nadeżnych pozwala na zwiększenie odległości pomiędzy przewodnikiem, a podążającym za nim pojazdem do wartości ograniczonej przez zasięg dwukierunkowego łącza radiowego i nie wymaga utrzymywania kontaktu wzrokowego. Trasa przewodnika wyznaczona poprzez posiadany przez niego odbiornik GPS jest przesyłana drogą radiową do podążającego za nim pojazdu (rys. 1).

Podstawową częścią systemu jest stacja referencyjna umieszczona w geodezyjnie zorientowanym punkcie, która w oparciu o określone współrzędne punktu, w którym jest umieszczona i współrzędne wyznaczone na podstawie sygnałów satelitarnych, wyznacza tzw. „poprawki”. Są one przesyłane drogą radiową do dwukanałowych odbiorników przewodnika i pojazdu. Na podstawie otrzymanych „poprawek GPS” i danych z satelitów odbiorniki GPS zestawu przewodnik-pojazd wyznaczają położenie z dokładnością do ok. 0,1 m.

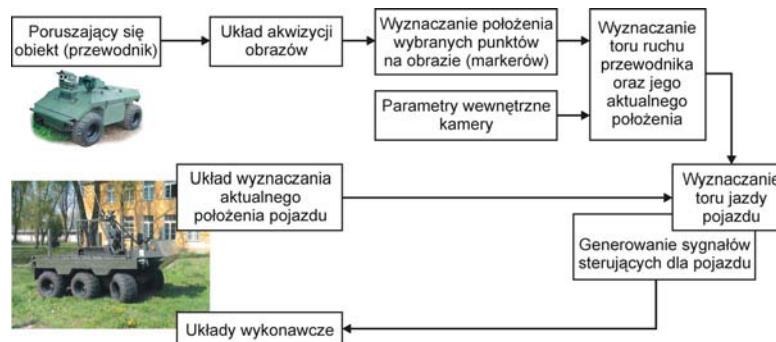
Dodatkowym wyposażeniem zamontowanym na pojeździe jest żyrokompas elektroniczny, zapewniający wyznaczenie orientacji pojazdu po uruchomieniu systemu.



Rys. 1. Schemat sterowania nadążnego w oparciu o system GPS

Przewodnik powinien startować ok. 4 m przed pojazdem, a na łączącej ich drodze nie mogą znajdować się żadne przeszkody, ponieważ przewodnik wyznacza drogę dla kierowanego pojazdu, a w chwili startu nie ma pomiędzy nimi predefiniowanej ścieżki. Ponadto, na kierowanym pojeździe nie ma zamontowanych systemów omijania przeszkód terenowych, przewodnik musi więc podczas jazdy wybierać trasę bezkolizyjną.

Drugim najczęściej stosowanym rozwiązaniem nadążnych systemów kierowania BPL są układy wizyjne (rys. 2). Ważnym zadaniem w tym systemie sterowania jest, by zastosowanie niezawodnego algorytmu sterującego. Powinien on zapewniać wyznaczanie trasy bez względu na zewnętrzne warunki atmosferyczne, przy różnorodnym stopniu zacielenia przewodnika i trasy. Równocześnie algorytm musi mieć zdolność wyznaczania trasy dla szerokiej gamy scenarii otoczenia, przy uwzględnieniu innych pojazdów, żołnierzy, drzew, budynków, itp.



Rys. 2. Schemat sterowania nadążnego na podstawie sygnałów z układu wizyjnego

2. WYZNACZANIE ODLEGŁOŚCI OBIEKTÓW NA PODSTAWIE OBRAZU WIZYJNEGO

Przy analizie zależności geometrycznych do wyznaczenia rozmiarów obiektów w otoczeniu pojazdu bezzałogowego, założono, że początek kartezjańskiego układu współrzędnych Rc_0 jest w geometrycznym środku przetwornika CCD kamery, oś z jest równoległa do podłoża (rys. 3).

R_r oznacza układ współrzędnych krawędzi dalmierza. Odległość od obiektu badanego jest sumą długości r , odległości podawanej przez dalmierz, oraz d_{c-r} odległości poziomej pomiędzy środkiem kamery i środkiem dalmierza. Współrzędne Y wektora h_e i h_f zależą od położenia skrajnych krawędzi obiektu. Współrzędne z są dla obu przypadków identyczne i wynoszą $d_{c-r} + r$.

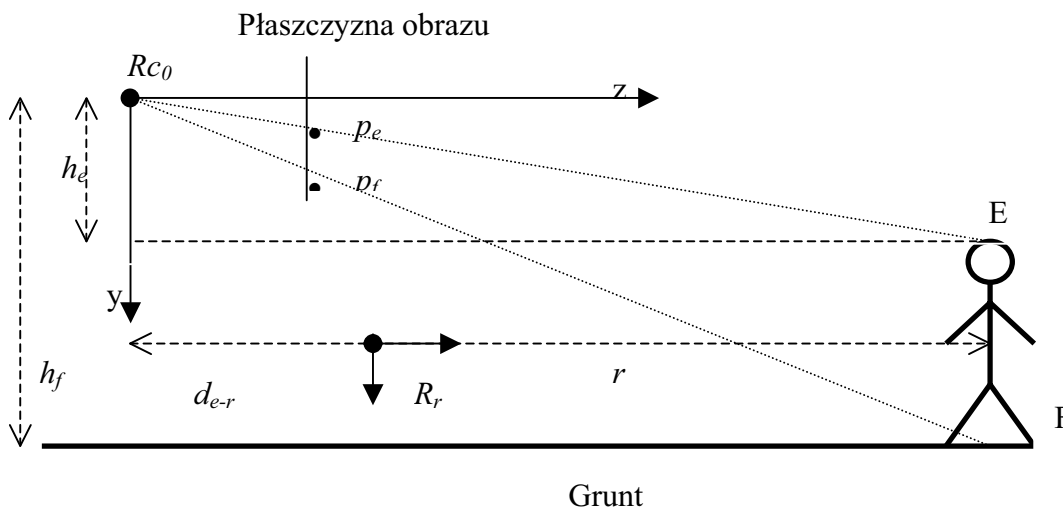
Rozmiar badanego obiektu wyrażony jest zależnością:

$$S_{ob} = y_f - y_e \quad (1)$$

Gdzie y_e i y_f są składowymi Y skrajnych krawędzi badanego obiektu:

$$y_f = \frac{Y_f}{Z_f} f_y = \frac{h_f}{d_{c-r} + r} f_y \quad (2)$$

$$y_e = \frac{Y_e}{Z_e} f_y = \frac{h_e}{d_{c-r} + r} f_y \quad (3)$$



Rys. 3. Schemat stanowiska do wyznaczenia położenia obiektów na podstawie obrazu wizyjnego

Rozmiar obiektu badanego wynosi:

$$S_{ob} = y_f - y_e = \frac{h_f - h_e}{d_{c-r} + r} f_y \quad (4)$$

gdzie: f_y jest długością ogniskowej kamery w odniesieniu do wymiarów w pikselach w kierunku osi y .

W rzeczywistości oś z kamery nie jest równoległa do ziemi lecz obrócona o kąt α . W takim przypadku współrzędne w przestrzeni skrajnych krawędzi obiektu badanego są modyfikowane macierzą obrotu R_x :

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (5)$$

gdzie α jest kątem rotacji.

Nowe współrzędne y i z wyrażone są zależnością:

$$\begin{aligned} y' &= y \cos \alpha - z \sin \alpha \\ z' &= z \cos \alpha + y \sin \alpha \end{aligned} \quad (6)$$

W takim przypadku współrzędne krawędzi badanego obiektu przyjmują postać:

$$\begin{aligned} y'_f &= \frac{y'_f}{z'_f} f_y = \frac{h_f \cos \alpha - (d_{c-r} + r) \sin \alpha}{(d_{c-r} + r) \cos \alpha + h_f \sin \alpha} f_y \\ y'_e &= \frac{y'_e}{z'_e} f_y = \frac{h_e \cos \alpha - (d_{c-r} + r) \sin \alpha}{(d_{c-r} + r) \cos \alpha + h_e \sin \alpha} f_y \end{aligned} \quad (7)$$

A rozmiar badanego obiektu wynosi:

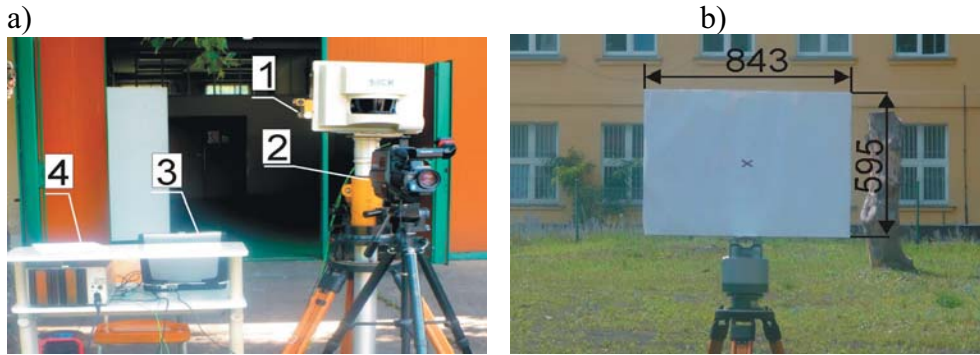
$$S_{ob} = y'_f - y'_e = \left(\frac{h_f \cos \alpha - (d_{c-r} + r) \sin \alpha}{(d_{c-r} + r) \cos \alpha + h_f \sin \alpha} - \frac{h_e \cos \alpha - (d_{c-r} + r) \sin \alpha}{(d_{c-r} + r) \cos \alpha + h_e \sin \alpha} \right) f_y \quad (8)$$

Do doświadczalnej weryfikacji opracowane metody wyznaczania odległości do obiektów znajdujących się w otoczeniu pojazdu, oraz określania ich wymiarów zbudowano stanowisko badawcze (rys. 4) składające się z kamer video do rejestracji obrazu, dalmierza laserowego do wyznaczania odległości do badanego obiektu, oraz obiektu-wzorca. Rejestracji obrazów dokonywano trzema kamerami: K1 o rozdzielczości matrycy 3072x2304, K2 o rozdzielczości matrycy 1024x768 i K3 o rozdzielczości matrycy 300x200.

Podczas badań przemieszczano położenie wzorca na odległości od ok. 5,5 m do 46,5 m. Jako wzorzec odległości obiektu od kamery wykorzystano pomiary wykonywane dalmierzem laserowym.

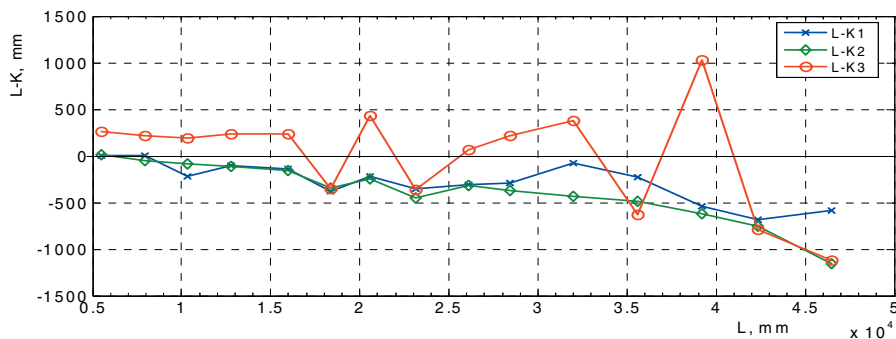
Wymiary obiektów zarejestrowanych na przetworniku kamery CCD zależą od:

- wymiarów rzeczywistych obiektu;
- odległości pomiędzy obiektem a kamerą;
- wysokości umieszczenia kamery;
- kąta nachylenia kamery;
- ogniskowej kamery.

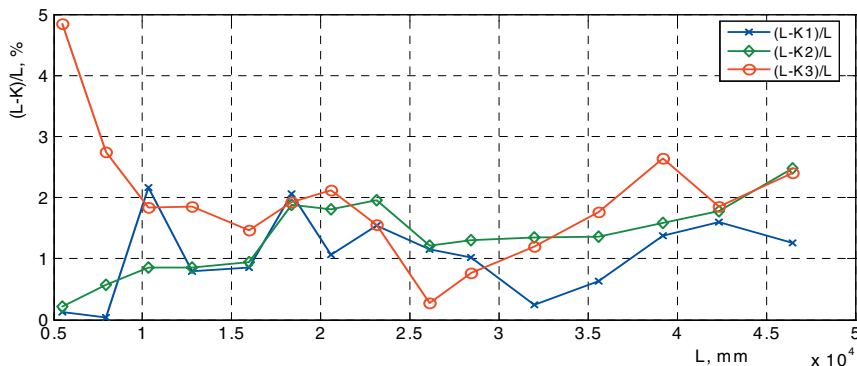


Rys. 4. Wyznaczanie położenia obiektów za pomocą dalmierza i kamery: a) aparatura pomiarowo-rejestrująca: 1 – dalmierz laserowy; 2 – kamera video o rozdzielczości 1024x768; 3 – komputer; 4- zasilacz; b) widok wzorca pomiarowego

Wyniki obliczeń błędu bezwzględnego i błędu względnego wyznaczania położenia obiektu za pomocą obrazów z kamer K1, K2 i K3 w funkcji odległości obiektu od kamer przedstawiono odpowiednio na rys. 5 i rys. 6.



Rys. 5. Różnice pomiędzy wyznaczenie położenia obiektu za pomocą dalmierza a kamerami K1 - (L-K1); K2 - (L- K2) i K3 - (L-K3)



Rys. 6. Różnice względne pomiędzy wyznaczeniem położenia obiektu za pomocą dalmierza a kamerami: K1 - (L-K1)/L; K2 - (L- K2)/L i K3 - (L-K3)/L

Przeprowadzone badania wykazały, że błąd względny wyznaczania odległości obiektów o znanych wymiarach na podstawie obrazów z kamery wynosi ok. 2% i jego wartość nie jest zależna od odległości (rys. 6). Analiza przedstawionego na rys 5 błędu bezwzględnego wyznaczania odległości dla kamer o różnej rozdzielczości wykazała, że dla kamery K1

o rozdzielczości 3072x2304 i K2 o rozdzielczości 1024x768 błąd ten jest wprost proporcjonalny do odległości i jest mniejszy dla kamery K1. Analiza błędu dla kamery K3 o rozdzielczości 300x200 wykazała, że jest on stały na odległości 16 m, później jego wartość zmienia się od (-1,2 m) do 1 m. Dlatego do wyznaczania odległości obiektów od kamery należy stosować kamery o rozdzielczość nie mniejszej niż 3072x2304.

3. WNIOSKI

Tworzenie systemów bezzałogowych, umożliwiających wykorzystanie wysoko zautomatyzowanych środków transportu, wymaga prowadzenia prac badawczych nad opracowaniem układów kierowania, lokalizowania, oraz rozpoznania otoczenia.

Rezultaty badań wyznaczania odległości obiektów od kamery wskazują, że metoda ta może być wykorzystywana do lokalizowania pojazdów względem znaczników o znanych wymiarach, oraz do sterowania jazdą pojazdu podążającego za przewodnikiem z zainstalowanym znacznikiem pasywnym (obiekt odbijający światło) lub aktywnym (obiekt emitujący światło).

Przedstawione w referacie kierunki prac nad lokalizowaniem obiektów za pomocą układów wizyjnych stanowią podstawę do opracowania nadążnego układu nadążnego sterowania lekką platformą transportową. Ich efektem powinno być opracowanie bezzałogowego pojazdu transportowego przeznaczonego do konwojowania zaopatrzenia.

4. LITERATURA

- [1] Bradski G. R., *Computer Video face tracking for use in a perceptual user interface*, Intel Technology Journal No 2 1998.
- [2] Brendle B. E., Jaczkowski J.: *Robotic Follower: near-term autonomy for future combat systems*, SPIE Proc. 4715: Unmanned Ground Vehicles Technology IV Orlando, FL 2001.
- [3] Kozicka A., Typiak A., *Kierunki rozwoju systemów transportowych*, Zeszyty Logistyczne nr 31. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2006.
- [4] Baten S., *Autonomous road and contour following with a tracked vehicle*. SPIE Conference Unmanned Ground Vehicle Technology II, Orlando, FL, April 2000.
- [5] Bellutta P., Mandchi R., Matthies L., Owens K., Rankin A., *Terrain perception for Demo III*. Intelligent Vehicles Symposium, Dearborn, MI, 2000.
- [6] Thomanek F., Dickmanns E.D., *Autonomous road vehicle guidance in normal traffic*. ACCV, 1995.