

dr inż. Jerzy GARUS
Akademia Marynarki Wojennej
mgr inż. Andrzej ŻAK
Zespół Informatyki Marynarki Wojennej

IDENTYFIKACJA OBIEKTÓW PODWODNYCH PRZEZ UKŁAD WIZYJNY BEZZAŁOGOWEGO POJAZDU GŁĘBINOWEGO

W pracy przedstawiono koncepcję przesyłania obrazów wizyjnych z bezzałogowego pojazdu głębinowego do bazy oraz metodę poszukiwania wybranych elementów na tych obrazach. Do identyfikacji obrazów wykorzystano transformatę Hougha. Ponadto w pracy przedstawiono wyniki badań dokonanych na obrazach akwenu podwodnego otrzymanych z kamery kolorowej i czarno-białej przy różnym poziomie zakłóceń.

IDENTIFICATION OF UNDERWATER OBJECTS BY VISION SYSTEM OF UNDERWATER VEHICAL

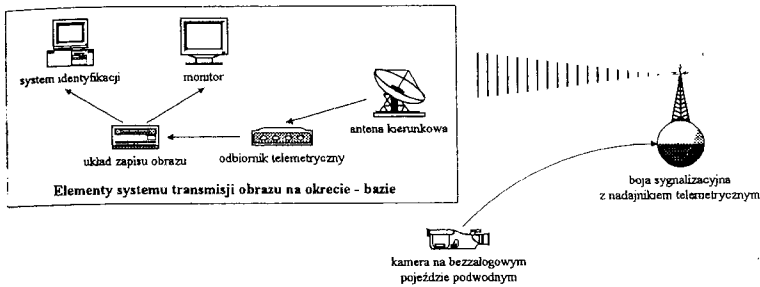
The paper presents conception of pictures transmission from the underwater vehicle to the base and the method of searching the selected elements on this pictures. Hough transform is used in identification processes. Moreover in the paper presents results of research made for pictures of underwater pole which were captured from colour and black-white camera for different levels of noises.

1. WPROWADZENIE

Wśród różnorodnych środków technicznych służących do penetrowania mórz i oceanów znaczącą rolę odgrywają pojazdy głębinowe, które można podzielić na trzy kategorie:

- pojazdy i kapsuły załogowe,
- pojazdy bezzałogowe zdalnie sterowane,
- pojazdy hybrydowe o różnej konstrukcji, budowie i przeznaczeniu.

Od lat siedemdziesiątych nastąpiło wzmożone zainteresowanie bezzałogowymi pojazdami podwodnymi przed którymi stawia się coraz bardziej złożone zadania. Początkowo pojazdy podwodne wykorzystywane były do pomiaru różnych fizycznych i chemicznych parametrów głębin morskich. Obecnie jednym z głównych zadań stawianych pojazdom głębinowym jest poszukiwanie różnego typu obiektów znajdujących się w toni morskiej lub leżących na dnie. W tym celu na pojeździe należy zamontować kamerę, pozwalającą na filmowanie dużych akwenów, układ nawigacyjny oraz opracować algorytmy sterowania jego ruchem i identyfikacji uzyskanych obrazów wizyjnych. Ze względu na ograniczone gabaryty, a tym samym i wyporność pojazdu głębinowego urządzenia służące do analizy uzyskanych obrazów wizyjnych nie zawsze mogą być montowane bezpośrednio na tym pojeździe. Z tych względów pojazd podwodny powinien przesłać obraz wizyjny na okręt-bazę i dopiero tam będzie przeprowadzony proces identyfikacji. Koncepcja takiego rozwiązania przedstawiona jest na rysunku 1



Rys. 1. Koncepcja transmisji obrazu wizyjnego z pojazdu głębinowego

Pojazd podwodnym wyposażony jest w kamerę z której torem kablowym obraz przesyłany jest do boi sygnalizacyjnej. Obraz ten na okręt bazę przesyłany jest łączem telemetrycznym składającym się z nadajnika i anteny nadawczej zainstalowanej na boi sygnalizacyjnej oraz anteny odbiorczej i odbiornika znajdującej się na okręcie-bazie. Na okręcie bazie istnieje możliwość zapisu obrazu wizyjnego. Obraz ten poddawany jest analizie w układzie identyfikacji obrazu. W trakcie analizy następuje poszukiwanie wybranych elementów obrazu podobnych do wzorców zapisanych w bazie danych układu identyfikacji.

2. TRANSFORMATA HOUGH'A

Transformata Hougha została opatentowana w 1962 roku jako metoda wykrywania wzorców na obrazach binarnych. Podstawowym założeniem była możliwość wyznaczenia zbioru parametrów opisujących szukane wzorce.

Przedstawienie kluczowej idei metody Hougha rozpoczniemy od rozważania problemu wyznaczenia zbioru kolinearnych punktów na obrazie. Zbiór takich punktów (x, y) można określić następująco:

$$\lambda_0 = \{(x, y) \in R^2 : y - \hat{a}x - \hat{b} = 0\} \quad (2.1)$$

gdzie: \hat{a} i \hat{b} są parametrami o wartościach ustalonych charakteryzującymi prostą. Rozwiązaniem równania $y - \hat{a}x - \hat{b} = 0$ dla ustalonego (\hat{a}, \hat{b}) jest zbiór punktów na płaszczyźnie. Cechą szczególną otrzymanego w ten sposób odwzorowania $(\hat{a}, \hat{b}) \rightarrow \lambda_0$ jest to, że dla jednego punktu z przestrzeni parametrów otrzymujemy na obrazie zbiór punktów kolinearnych.

W celu wyznaczenia wartości parametrów (a, b) prostych przechodzących przez zadany punkt (\hat{x}, \hat{y}) należy rozwiązać równanie $\hat{y} - a\hat{x} - b = 0$ względem (a, b) . Odpowiada to wyznaczeniu parametrów wszystkich możliwych prostych (pęku prostych) przechodzących przez dany punkt (\hat{x}, \hat{y}) . Za wynik identyfikacji przyjmuje się te proste (a, b) , które zbiorą od wszystkich aktywnych pikseli obrazu B największą liczbę głosów.

Rozwinięcie omawianej metody do detekcji krzywych zdefiniowanych parametrycznie, jest dość oczywiste. Punkty (x, y) obrazu leżące na krzywej określonej przez n parametrów (a_1, \dots, a_n) można przedstawić w postaci relacji:

$$\lambda_0 = \{(x, y) \in R^2 : g((\hat{a}_1, \dots, \hat{a}_n), (x, y)) = 0\} \quad (2.2)$$

gdzie $g((\hat{a}_1, \dots, \hat{a}_n), (x, y)) = 0$ jest równaniem opisującym daną krzywą.

W celu obliczenia która krzywa (a_1, \dots, a_n) zbiera największą liczbę głosów od aktywnych pikseli obrazu B transformata Hougha $H(a_1, \dots, a_n)$ jest definiowana następująco:

$$H(a_1, \dots, a_n) = \sum_{(x, y) \in B} h(\hat{x}, \hat{y}, a_1, \dots, a_n) \quad (2.3)$$

gdzie:

$$h(\hat{x}, \hat{y}, a_1, \dots, a_n) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } g((\hat{x}, \hat{y}), (a_1, \dots, a_n)) = 0 \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad (2.4)$$

W wyniku takiego postępowania otrzymuje się tablicę - akumulator, której każdy element jest identyfikowany przez wartość parametrów (a_1, \dots, a_n) . Zawartość komórki jest zwiększana o 1, gdy krzywa analityczna określona współrzędnymi komórki (a_1, \dots, a_n) przechodzi przez punkt (\hat{x}, \hat{y}) obiektu na obrazie B . Można zatem przyjmując że przekształcenie Hougha polega na odwzorowaniu obrazu B w tablicę akumulatora A .

Przedstawioną powyżej metodę można uogólnić i rozszerzyć na wzorce nieregularne. Wystarczy potraktować krawędzie szukanego obiektu (lub cały obiekt) jako zbiór punktów $\{(x_i, y_i) : i = 1, \dots, n\}$, bez konkretnego opisu analitycznego. Przyjmujemy, że wzorec W może podlegać przekształceniom obrotu o kąt α oraz przesunięcia o wektor $[x_T, y_T]$. W rezultacie dany punkt (x_i, y_i) wzorca zostaje przekształcony w (x'_i, y'_i) zgodnie z zależnościami:

$$\begin{cases} x'_i = x_i + s(x_i - x_r) \cos(\alpha) - s(y_i - y_r) \sin(\alpha) + x_T \\ y'_i = y_i + s(x_i - x_r) \sin(\alpha) + s(y_i - y_r) \cos(\alpha) + y_T \end{cases} \quad (2.5)$$

Zatem w rozważanym przypadku transformata Hougha $H(x_T, y_T, \alpha)$ dla obrazu $B(x, y)$ może być definiowana w postaci:

$$H(x_T, y_T, \alpha) = \sum_{(x, y) \in M_w} h(x, y, x_T, y_T, \alpha) \quad (2.6)$$

gdzie.

$$h(x, y, x_T, y_T, \alpha) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } (x'_i, y'_i) \in b(B) \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad (2.7)$$

3. PRZETWARZANIE WSTĘPNE

Przed przystąpieniem do procesu identyfikacji obraz na którym będzie ona przeprowadzona poddawany jest przetwarzaniu wstępnemu.

Jako pierwsze jest wykonywane konturowanie. Polega ono na wykorzystaniu filtru Sobela, który działa na zasadzie gradientowej. Gradient określa, jak w obrazie zmieniają się jasności od piksela do piksela i jest on większy tam, gdzie obraz ma największe zmiany jasności. W celu wykrycia krawędzi najpierw wykonujemy operację splotu poziomego filtru Sobela z obrazem, a potem stosujemy filtr pionowy Sobela. To daje:

$$\begin{aligned} I_1 &= obraz \cdot S_{po} \\ I_2 &= obraz \cdot S_{pi} \end{aligned} \quad (3.1)$$

gdzie:

S_{po} – filtr poziomy Sobela o współczynnikach:

$$\begin{matrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{matrix}$$

S_{pi} – filtr pionowy Sobela o współczynnikach:

$$\begin{matrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{matrix}$$

Jasność nowego piksela obliczamy jako:

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2} \quad (3.2)$$

Dzięki zastosowaniu konturowania przedstawiona metoda nie jest wrażliwa na zmieniające się warunki widoczności pod wodą na które składają się przede wszystkim oświetlenie oraz ostrość widzenia kamery.

Drugą operacją jaka zostaje wykonana na obrazie po konturowaniu jest redukcja obliczeń poprzez badanie histogramów co prowadzi do zmniejszenia nakładów czasowych związanych z obliczeniem transformaty Hougha. Metoda ta polega na porównaniu histogramu wzorca z histogramami fragmentów obrazu wyznaczonymi przez wszystkie możliwe lokalizacje wzorca na obrazie. Próg jaki musi zostać osiągnięty przy porównywaniu histogramów został wyznaczony doświadczalnie w ten sposób, aby po redukcji pozostała jak najmniejsza liczba elementów obrazu a także, aby nie został pominięty element który jest poszukiwany.

Kolejną operacją jak będzie wykonywana na obrazie jest skalowanie. Dzięki temu niema potrzeby rozbudowania przestrzeni parametrów podczas obliczania transformaty Hougha a jednocześnie można identyfikować obiekty niezależnie od odległości od obiektywu kamery. Operacji skalowania polega na odwzorowaniu wszystkich pikseli obrazu. W celu jej wykonania korzysta się z następującego równania:

$$\begin{aligned} x_n &= x_o \cdot s_c \\ y_n &= y_o \cdot s_c \end{aligned} \quad (3.3)$$

gdzie:

(x_n, y_n) – nowe współrzędne piksela;

(x_o, y_o) – stare współrzędne piksela;

s_c – współczynnik skalowania obrazu.

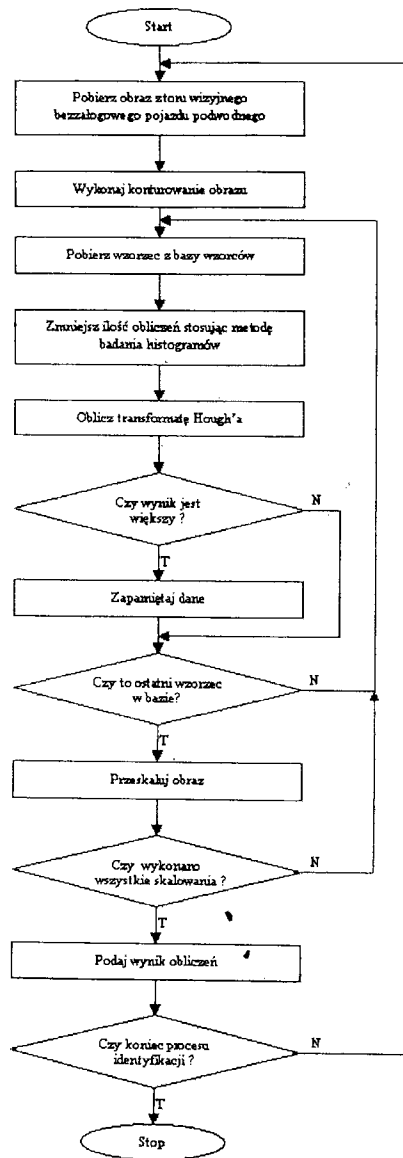
Po wykonaniu tych operacji zostaje obliczona transformata Hough'a, która jednoznacznie identyfikuje obiekty znajdujące się na obrazie.

4. ROZWIĄZANIA PROGRAMOWE

Przedstawiona powyżej metoda została zastosowana do identyfikacji obiektów na obrazach dynamicznych.

Aby można było powiedzieć, że proces identyfikacji zakończył się sukcesem program musi dać odpowiedź na pytania: który ze znanych obiektów znajduje się na obrazie, w którym miejscu oraz jaki jest jego kąt obrotu.

Przy rozpoznawaniu obiektów program posługuje się wzorcami zgromadzonymi w bazie danych programu. Wzorce te to mapy bitowe o rozmiarach 50×50 pikseli na których przedstawiony jest kontur poszukiwanego obiektu.

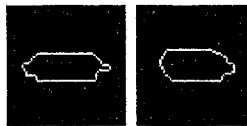


Rys. 2. Algorytm identyfikacji obiektów z zastosowaniem toru wizyjnego bezzalagowego pojazdu gębinowego

Identyfikacja dokonywana jest na obrazach dynamicznym otrzymanym z toru wizyjnego bezzałogowego pojazdu podwodnego. Czas jaki upływa pomiędzy kolejnymi analizami obrazu zależy od rozmiarów otrzymanego obrazu oraz ilości wzorców zgromadzonych w bazie. Konturowanie jest operacją jednokrotną, to znaczy po otrzymaniu pojedynczej klatki obrazu z toru wizyjnego robota jest wykonywana tylko raz. Pozostałe operacje przetwarzanie wstępnego czyli badanie histogramów i skalowanie obrazu są wykonywane kilkukrotnie. Algorytm działania programu przedstawiono na rysunku 2. W czasie porównywania wzorca i obszaru pod uwagę są brane jedynie te elementy wzorca a zarazem wybranego obszaru obrazu, które leżą wewnątrz okręgu wpisanego we wzorec, pozostałe elementy nie są rozważane. Takie postępowanie wynika z wykonywanego podczas identyfikacji obrotu wzorca. W czasie porównywania są zliczane elementy wzorca które pasują do wybranego obszaru obrazu. Po ich zsumowaniu są one przechowywane w tablicy akumulatora. Wartość tą identyfikują parametry: współrzędne przyłożenia wzorca, kąt obrotu wzorca, numer wzorca oraz skala obrazu. Po dokonaniu obliczeń z tablicy akumulatora wybierana jest wartość maksymalna. Na jej podstawie jednoznacznie określone są parametry poszukiwanego obiektu co kończy proces identyfikacji. Technika Hougha do identyfikacji obiektów na obrazach dynamicznych została zaimplementowana programowo z wykorzystaniem środowiska programistycznego Delphi firmy Inprise.

5. BADANIA

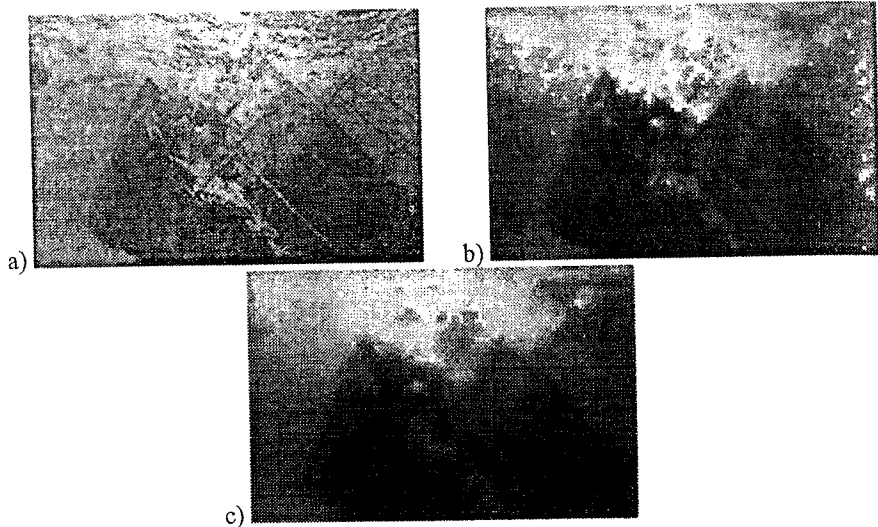
Na obrazach akwenu podwodnego otrzymanego z toru wizji bezzałogowego pojazdu głębinowego przeprowadzono badania z wykorzystaniem przedstawionej powyżej metody. Do badań utworzono bazę danych składającą się z 2 konturów wzorców które przedstawiono poniżej na rysunku 3.



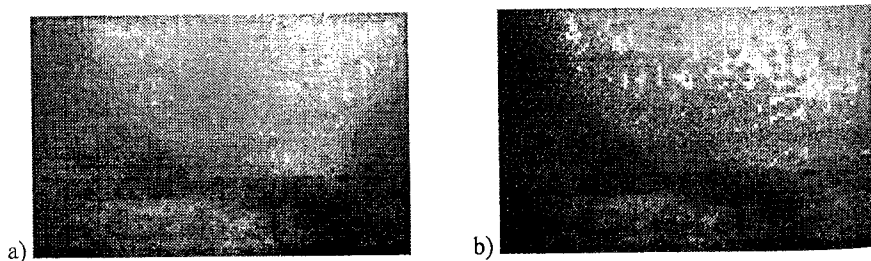
Rys. 3. Wzorce zgromadzone w bazie

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki identyfikacji dla obrazu uzyskanego z toru wizyjnego pojazdu podwodnego wyposażonego w kamerę kolorową. Badania przeprowadzono na obrazie bez zakłóceń oraz obrazach z zakłóceniami związanymi z oświetleniem i ostrością widzenia kamery.

Identyfikację przeprowadzono również dla obrazów uzyskanych z kamery monochromatycznej. W tym przypadku tak jak i poprzednio sprawdzona została możliwość omówionej metody do identyfikacji dla obrazu zakłóconego. Wyniki tej próby przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 4. Obraz z kamery kolorowej: a) wynik identyfikacji na obrazie bez zakłóceń; b) wynik identyfikacji na obrazie z zakłóceniami wynikającymi ze słabego oświetlenia; c) wynik identyfikacji na obrazie z zakłóceniami ostrości widzenia



Rys. 5. Obraz z kamery czarno-białej: a) wynik identyfikacji na obrazie bez zakłóceń; b) wynik identyfikacji na obrazie z zakłóceniami

6. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badanie potwierdziły przydatność transformaty Hougha do identyfikacji obiektów podwodnych. Pomimo zmiany warunków obserwacji akwenu podwodnego metoda ta pozwoliła na sprawną identyfikację poszukiwanych obiektów. Metoda ta daje dobra efekty przy identyfikacji obiektów podwodnych widzianych zarówno z kamery kolorowej jak i czarno-białej. W obecnej implementacji programowej metoda ta pozwala pracować na obrazach dynamicznych, wolnozmiennych zarejestrowanych przez układ wizyjny robota podwodnego ze względu na długi czas prowadzonych obliczeń. Chcąc wykorzystać ją do identyfikacji obiektów podwodnych w czasie rzeczywistym należało by metodę tą zaimplementować sprzętowo. Obecnie prowadzone są prace mające na celu przystosowanie jej do pracy w czasie rzeczywistym.

LITERATURA

- [1] Ballard D. H., Brown C. M.: *Computer Vision*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New York 1982.
- [2] Hough P. V. C.: *Method and means for recognizing complex patterns*. U.S. Patent 3,069,654, Dec. 18, 1962.
- [3] Illingworth J., Kittler J.: *A survey of the Hough Transform*. *Computer Vision, Graphics and Image Processing* 44, 1988, pp. 87-116.
- [4] Leavers V. F.: *Shape Detection in Computer Vision Using the Hough Transform*, Springer, London 1992.
- [5] Listkowski T., Żak B. i inni, Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego p.n.: *Identyfikacja w czasie rzeczywistym obiektów podwodnych przy wykorzystaniu statku głębinowego oraz zestawu do przekazu, odbioru i zapisu obrazu wizyjnego w kanale radiowym*, Praca realizowana w ramach grantu Nr 0 T00A 036 12. AMW, Gdynia 2000.
- [6] Watkins C. D., Sadun A., Marenka S.: *Nowoczesne metody przetwarzania obrazu*, WNT, Warszawa 1993.
- [7] Żak A., Żorski W.: *Identyfikacja obiektów na obrazach statycznych z wykorzystaniem transformaty Hougha*. Materiały VIII Krajowej Konferencji Naukowo-Dydaktycznej nt.: *Automatyzacja i Eksploatacja Systemów Sterowania i Łączności*, Gdynia, 3-5.10.2001, str. 83 - 88.
- [8] Żak A.: *Projekt sprzętowej realizacji transformaty Hougha w strukturach PLD*. Praca dyplomowa, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2001.
- [9] Żorski W.: *Metody segmentacji obrazów oparte na transformacie Hougha*. Instytut Automatyki i Robotyki, Wydział Cybernetyki, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2000.
- [10] Żorski W., Foxon B., Blackledge J., Turner M.: *Irregular Pattern Recognition Using the Hough Transform*. *Machine Graphics & Vision*, 5, 1996, pp. 111-121.
- [11] Żorski W., Foxon B., Blackledge J., Turner M.: *Fingerprint and Iris Identification Method Based on the Hough Transform*. *Bulletin on Institute of Automation and Robotics MUT*, 15, 2001, pp. 43-54.