

O PEWNEJ METODZIE WSPOMAGANIA IDENTYFIKACJI WIZYJNEJ OBIEKTÓW PODWODNYCH

Bogdan Żak, Jerzy Garus

Wydział Mechaniczno-Elektryczny, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni, Polska

STRESZCZENIE

Poszukiwanie i wykrycie obiektów znajdujących się w toni wodnej realizowane jest przez grupy wyspecjalizowanych nurków i płetwonurków. Jednakże ich czas przebywania pod wodą oraz możliwości penetracji głębin są ograniczone. Z tych względów coraz częściej do tych zadań wykorzystywane są bezzałogowe pojazdy podwodne wyposażone w środki technicznej obserwacji do których należą między innymi kamery TV. Tak więc do rozpoznania i klasyfikacji obiektów podwodnych są wykorzystywane obrazy wizyjne pochodzące z kamer zainstalowanych na pojazdach. Proces rozpoznania i identyfikacji obiektów jest procesem żmudnym i trudnym, wymagającym analizy wielu sekwencji obrazów, dlatego dąży się do jego automatyzacji. Wychodząc na przeciw tym potrzebom w artykule przedstawiono koncepcję identyfikacji podwodnych obiektów na podstawie obrazów wizyjnych akwenu podwodnego przesłanego z bezzałogowego pojazdu podwodnego na okręt bazę. Opisano metody przetwarzania wstępnego obrazów wizyjnych akwenu podwodnego oraz metodę poszukiwania wybranych obiektów na tych obrazach i ich identyfikację przy wykorzystaniu transformaty Hougha. Ponadto w pracy przedstawiono wyniki wstępnego przetwarzania oraz identyfikacji dokonanej na obrazach akwenu podwodnego oraz obrazie po operacji rozplotu.

Słowa kluczowe: rozpoznanie akwenu podwodnego, przetwarzanie obrazów, identyfikacja obiektów na obrazach wizyjnych.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2019 Vol. 66 Issue 1 pp. 25 - 34

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2019-0002

Strony: 10, rysunki: 6, tabele: 0

page **www** of the periodical: www.phr.net.pl

Typ artykułu: oryginalny

Termin nadesłania: 03.11.2018 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 15.12.2018 r.

Publisher

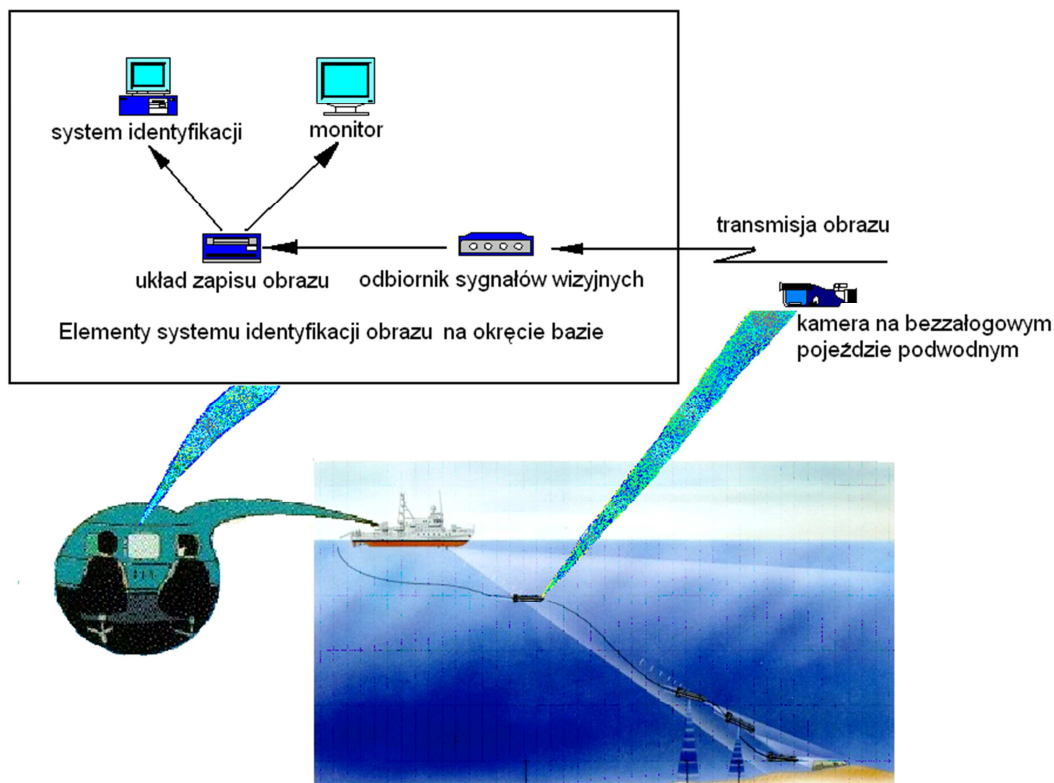
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

Od lat siedemdziesiątych nastąpiło wzmożone zainteresowanie 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 wspomaganie poszukiwania różnego typu obiektów, znajdujących się w toni morskiej lub leżących na dnie. W tym celu, pojazd wyposaża się w układ nawigacyjny oraz instaluje się na nim sonary pozwalające na przeszukiwanie i obserwowanie dużych akwenów podwodnych, a także wyposaża w układy wizyjne wspomagające identyfikację obiektów metodami wizyjnymi [1,2].

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, sekwencję obrazów akwenu podwodnego należy przestać poprzez pępowinę lub kanał akustyczny na okręt-bazę i dopiero tam przeprowadzić proces identyfikacji poszukiwanego obiektu. Proces ten musi odbywać się w czasie rzeczywistym. Obraz ten poddawany jest analizie w układzie identyfikacji obrazu. W trakcie analizy przesłanych obrazów następuje poszukiwanie wybranych elementów obrazu podobnych do wzorców zapisanych w bazie danych układu identyfikacji [3].



Rys. 1 Koncepcja systemu poszukiwania i identyfikacji obrazu wizyjnego z wykorzystaniem pojazdu głębinowego.

Koncepcja takiego rozwiązania przedstawiona jest na rys. 1. Pojazd podwodnym wyposażony jest w kamerę, z której torem kablowym obraz przesyłany jest do konsoli operatora 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.

PRZETWARZANIE WSTĘPNE OBRAZÓW

Mając pozyskany przez kamerę obraz, będzie istniała potrzeba jego polepszenia lub dokonania na nim innych operacji zapewniających identyfikację wybranych jego elementów. W celu polepszenia jakości, stosuje się całą gamę operacji oraz metod przekształceń obrazów już podczas wstępnego przetwarzania obrazów [4]. Zadaniem wstępnego przetwarzania obrazów jest przygotowanie danych do ostatecznej obróbki oraz zapewnienie prawidłowego prowadzenia analizy obrazu, a w wyniku tego identyfikacji wybranych jego elementów. W celu poprawy jakości obrazu i uwypuklenia szczegółów istotnych z punktu widzenia identyfikacji obiektu poszukiwanego, stosuje się filtrację już w procesie wstępnego przetwarzania obrazów [5,6].

Ze względu na środowisko wodne oraz słabe oświetlenie panujące w głębinach, obraz akwenu podwodnego cechuje się bardzo słabą jakością. Dlatego też należy poprawić jego jakość poprzez kompensację zakłóceń widzenia podwodnego i zredukować ich wpływ doprowadzając do zrekonstruowania pierwotnego jego kształtu. W tym celu stosuje się metodę

rozplotu, której zadaniem jest odtworzenie oryginalnego albo zamierzonego wyglądu obrazu. Obraz obserwowany $f(x, y)$ który uległ pogorszeniu, można traktować jako splot obrazu początkowego $g(x, y)$ z funkcją odpowiedzi impulsowej $h(x, y)$ określającej jak wygląda punkt w idealnych warunkach. Czyli można zapisać iż:

$$f(x, y) = g(x, y) * h(x, y) \quad (1)$$

Po zastosowaniu transformaty Fouriera powyższe równanie przyjmie postać:

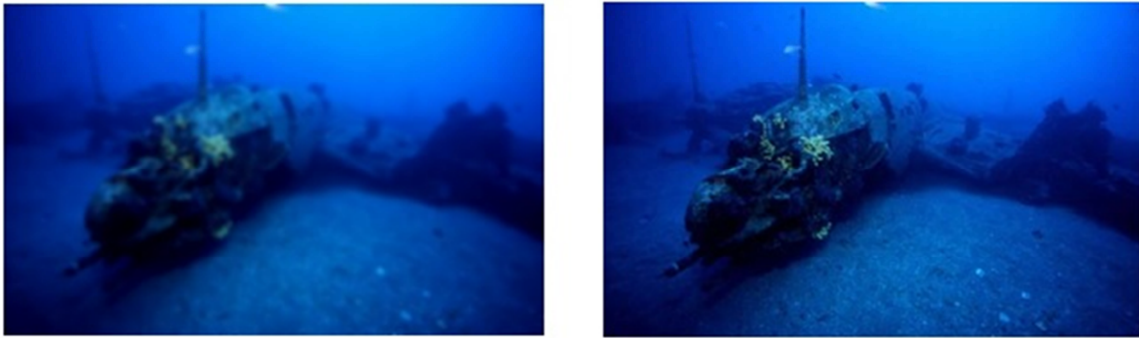
$$F(u, v) = G(u, v) \cdot H(u, v) \quad (2)$$

Stąd, jeżeli jest znana funkcja odpowiedzi impulsowej to można odtworzyć obraz stosując równanie:

$$G(u, v) = F(u, v) / H(u, v) \quad (3)$$

W praktyce trzeba dodać szum addytywny $N(u, v)$ który jest obecny w obrazie. Stąd powyższe równanie przyjmie postać:

$$G(u, v) = (F(u, v) - N(u, v)) / H(u, v) \quad (4)$$



Rys. 2 Efekt działania operacji rozplotu: a) obraz obiektu leżącego na dnie morskim zarejestrowany przez kamerę TV, b) wynik działania operacji rozplotu na obrazie akwenu podwodnego zarejestrowanym przez kamerę TV.

Należy zauważyć, że jeżeli $H(u, v)$ jest małe to oba wyrazy w równaniu (4) mogą stać się duże i szum może zostać wzmocniony. Jedną z metod uniknięcia tego zjawiska jest zastosowanie filtracji Wienera, która polega na zapisaniu obrazu w jego odtworzonej postaci jako:

$$G(u, v) = [F(u, v) \cdot \hat{H}(u, v)] / [N(u, v) \cdot \hat{H}(u, v) + n_u] \quad (5)$$

gdzie:

$\hat{H}(u, v)$ - jest liczbą zespoloną sprzężoną dla $H(u, v)$;

n_u - jest stosunkiem sygnał / szum i jest to wielkość heurystyczna uzyskana w drodze doświadczalnej.

Na rys. 2 przedstawiono wynik działania operacji rozplotu na obrazie akwenu podwodnego, uzyskanego z kamery TV.

IDENTYFIKACJA WYBRANYCH OBIEKTÓW NA OBRAZACH

Do identyfikacji wybranych elementów obrazów wizyjnych można wykorzystać transformatę Hough'a [7,8]. Zbiór kolinearnych punktów (x, y) można określić następująco:

$$\lambda_0 = \{(x, y) \in R^2 : y - \hat{a}x - \hat{b} = 0\} \quad (6)$$

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 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 największą liczbę głosów.

Rozwinięcie omawianej metody do detekcji krzywych zdefiniowanych parametrycznie, jest dość oczywiste [9,10]. Punkt (x, y) obrazu leżące na krzywej określonej przez n parametrów (a_1, \dots, a_n) można przedstawić w postaci relacji:

$$\lambda_0 = \{(x, y) \in R^2 : g((\hat{a}_1, \dots, \hat{a}_n), (x, y)) = 0\} \quad (7)$$

gdzie:

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

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:

$$H(a_1, \dots, a_n) = \sum_{(x_i, y_i) \in B} h(\hat{x}_i, \hat{y}_i, a_1, \dots, a_n) \quad (8)$$

gdzie:

$$h(\hat{x}_i, \hat{y}_i, a_1, \dots, a_n) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } g((\hat{x}_i, \hat{y}_i), (a_1, \dots, a_n)) = 0 \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad (9)$$

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 przyjąć, że przekształcenie Hougha polega na odwzorowaniu obrazu B w tablicę akumulatora A [11].

Przedstawioną powyżej metodę można uogólnić i rozszerzyć na wzorce nieregularne. 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') . Zatem w rozważanym przypadku transformata Hougha $H(x_T, y_T, \alpha)$ dla obrazu $B(x, y)$ może być definiowana w postaci:

$$H(x_T, y_T, \alpha) = \sum_{(x_i, y_i) \in M_W} h(x_i, y_i, x_T, y_T, \alpha) \quad (10)$$

gdzie:

$$h(x_i, y_i, x_T, y_T, \alpha) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } (x_i', y_i') \in b(B) \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad (11)$$

Uogólniając tą metodę należy przyjąć:

$$h(x_i, y_i, x_T, y_T, \alpha) = 255 - |B(x_i', y_i') - W(x_i, y_i)| \quad (12)$$

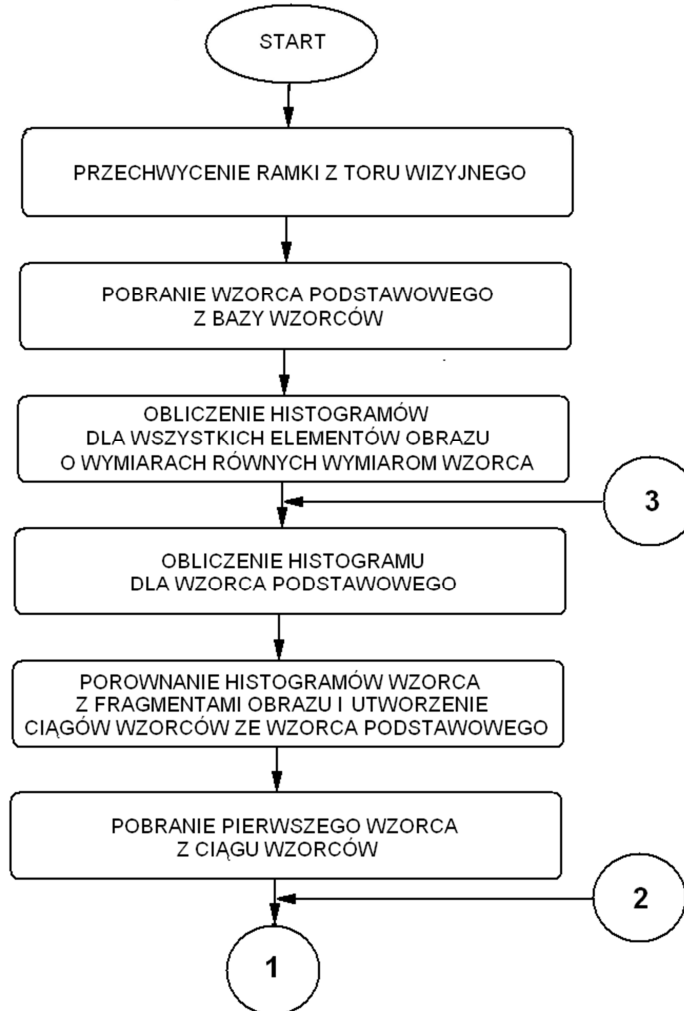
Często się zdarza, że ze względu na utratę pewnych informacji o obrazie podczas jego konwersji, transformatę można rozszerzyć o możliwość stosowania na obrazach o paletce kolorów TrueColor, poprzez dodanie obliczeń odległości między kolorami. Problem sprowadza się do obliczenia odległości między dwoma punktami (r_B, b_B, g_B) oraz (r_W, b_W, g_W) umieszczonymi w sześcianie RGB. Odległość tą można zdefiniować następująco:

$$|B(x_i', y_i') - W(x_i, y_i)| = \sqrt{(r_B - r_W)^2 + (g_B - g_W)^2 + (b_B - b_W)^2} \quad (13)$$

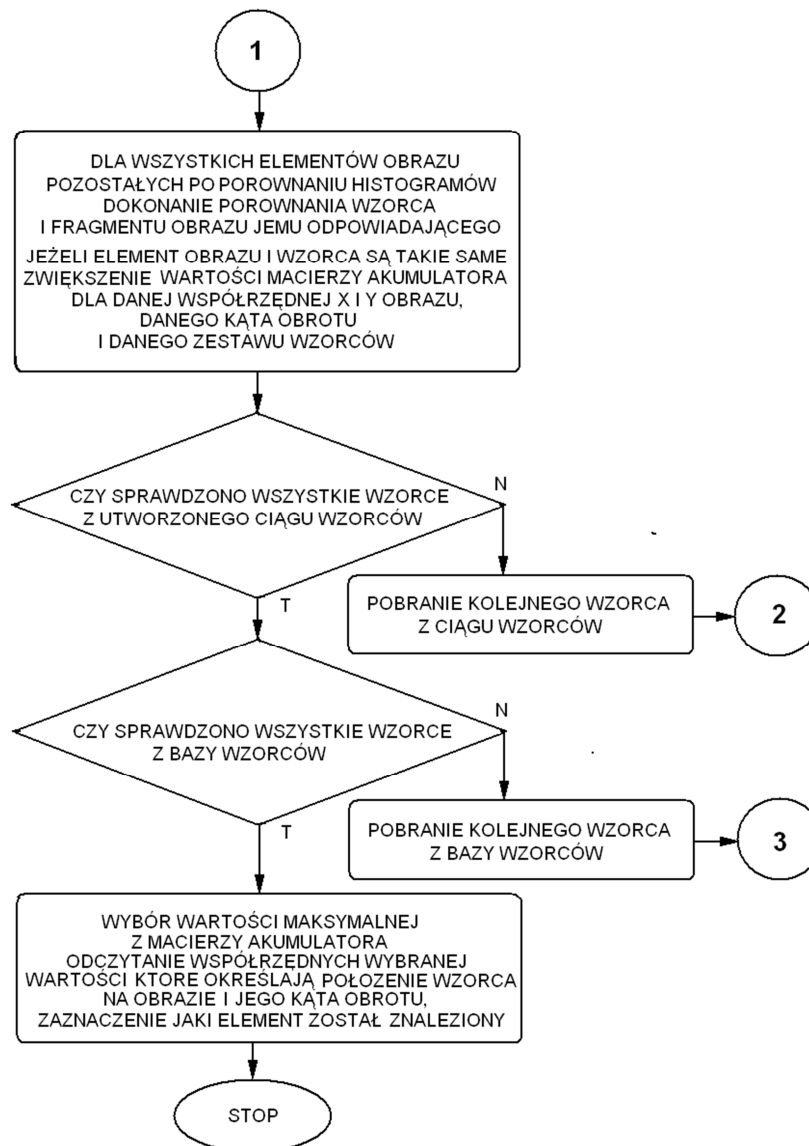
Przedstawiona metoda, przy jej implementacji programowej, może być jedynie wykorzystana do identyfikacji obrazów statycznych. Chcąc wykorzystać powyższą metodę do identyfikacji obiektów podwodnych w czasie rzeczywistym, należałoby zaimplementować ją sprzętowo. Pozwoli to na skrócenie czasu przetwarzania algorytmu identyfikacji [12].

ROZWIĄZANIE PROGRAMOWE IDENTYFIKACJI WYBRANYCH OBIEKTÓW

Przedstawiona powyżej metoda, została zastosowana do identyfikacji obiektów podwodnych przez robota mobilnego z wykorzystaniem toru wizyjnego. 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. W bazie danych programu zostały zgromadzone wzorce elementów, które mają być identyfikowane przez robota. Program pozyskuje obraz z kamery umieszczonej na robocie poprzez system transmisji przedstawiony na rys. 1. Algorytm działania programu przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3 Algorytm identyfikacji obiektów podwodnych z zastosowaniem toru wizyjnego bezzałogowego pojazdu głębinowego.



Rys. 3 cd. Algorytm identyfikacji obiektów podwodnych z zastosowaniem toru wizyjnego bezzałogowego pojazdu głębinowego.

W celu zmniejszenia nakładów czasowych związanych z obliczeniem transformaty Hougha, zbiór elementów obrazu, które będą podlegały dalszemu rozpatrzeniu, zostaje zawężony poprzez redukcję histogramami. 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. W czasie porównywania wzorca i obszaru, porównaniu podlegają jedynie te elementy wzorca a zarazem wybranego obszaru obrazu, które leżą wewnątrz okręgu wpisanego we wzorec, pozostałe elementy nie są rozważane, co wynika z wykonanego obrotu wzorca.

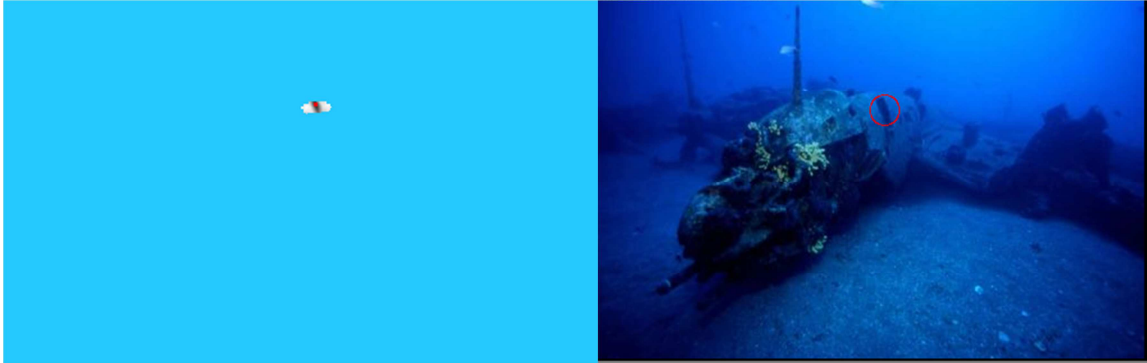
W czasie porównywania, są zliczane elementy wzorca, które pasują do wybranego obszaru obrazu. Po ich zsumowaniu, są one przechowywane w tablicy akumulatora. Wartość tą identyfikują parametry: współrzędne przyłożenia wzorca, kąt obrotu wzorca oraz numer wzorca. Na ich podstawie jednoznacznie określamy jaki element i w którym miejscu się znajduje na obrazie co kończy proces identyfikacji.

BADANIA OPRACOWANEGO ALGORYTMU

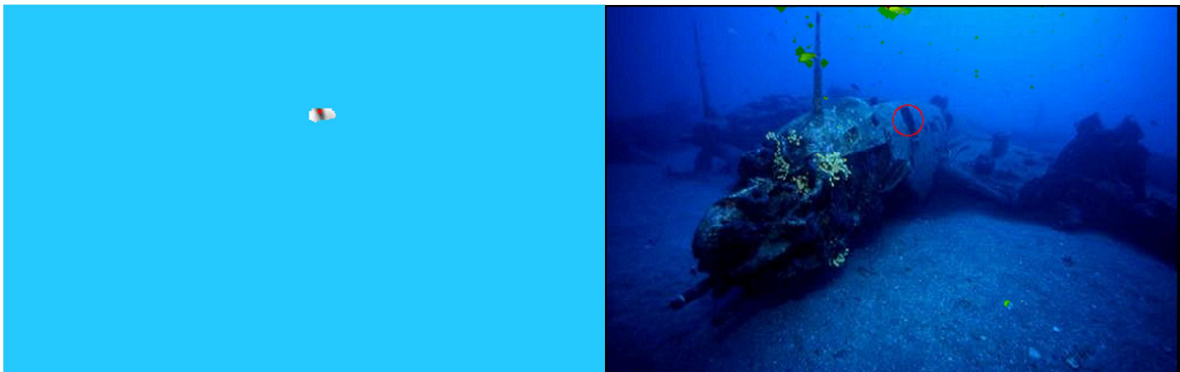
Na obrazach akwenu podwodnego otrzymanego z toru wizji bezzałogowego pojazdu głębinowego, przeprowadzono badania z wykorzystaniem przedstawionej powyżej metody. Badaniu poddano obraz z rys. 2a bez wstępnej obróbki a także po nałożeniu na ten obraz różnych filtrów. Na obrazach tych poszukiwano wzorca przedstawionego na rys. 4, który zostały utworzony z fragmentu analizowanego obrazu i wprowadzony do bazy danych. Wyniki badań przedstawiono na rys. 5 i 6.



Rys. 4 Wzorec poszukiwany na analizowanym obrazie: a) fragment obrazu, na podstawie którego utworzono wzorec; b) utworzony wzorec obiektu poszukiwanego na obrazie.



Rys. 5 Identyfikacji wzorca na obrazie z rys. 2a: a) wynik działania transformaty Hougha na analizowanym obrazie, b) wynik identyfikacji obiektu.



Rys. 6 Identyfikacji wzorca na obrazie z rys. 2b po filtracji górnoprzepustowej: a) wynik działania transformaty Hougha, b) wynik identyfikacji obiektu.

PODSUMOWANIE

Obserwacja akwenu podwodnego poprzez techniczne środki rejestracji obrazu nie jest rzeczą prostą. Zakłócenia występujące w tym środowisku, na które składają się przede wszystkim oświetlenie, zanieczyszczenia pochodzenia organicznego oraz ostrość nieorganiczna oraz ostrość widzenia kamery w znaczący sposób wpływają na jakość rejestrowanych obrazów. Dlatego też istnieje silna potrzeba przetwarzania wstępnego obrazu, która pozwoli na prowadzenie dalszych operacji takich jak choćby wyszukiwanie określonych elementów.

Z przedstawionych wyników badań wnioskuje się, że zastosowanie prostych metod przetwarzania wstępnego pozwala na zdecydowane polepszenie jakości obrazu a tym samym uwypuklenie informacji znaczącej z punktu widzenia rozpoznawania i identyfikacji obrazów.

Przeprowadzone badanie potwierdziły przydatność transformaty Hougha do identyfikacji obiektów podwodnych. Pomimo zmiany warunków obserwacji akwenu podwodnego, metoda ta pozwoliła na sprawną identyfikację poszukiwanych obiektów. W obecnej implementacji programowej, metoda ta pozwala pracować na obrazach stacjonarnych, zarejestrowanych przez układ wizyjny robota podwodnego ze względu na długi czas prowadzonych obliczeń. Chcąc wykorzystać ją do identyfikacji obiektów podwodnych w czasie rzeczywistym, należałoby metodę tą zaimplementować sprzętowo.

BIBLIOGRAFIA

1. Garus J., Kitowski Z.: Sliding control of motion of underwater vehicle. Proc. of the 4th Int. Conference on Marine Technology III ODRA'99, Computational Mechanics Publications, Southampton, 1999, pp. 603-611;
2. Żak B., Hozyn S.: Stereoscopic Technique for a Motion Parameter Determination of Remotely Operated Vehicles, 2016, pp. 263-283, International Conference Mechatronics: Ideas for Industrial Applications, 11–13 May 2015, Gdańsk;
3. Żak B.: Identification of Sunken Objects in Sea Environment Using the Visual System. Polish Journal of Environmental Studies, Vol.18, No 4B, 2009, pp. 231-236;
4. Ballard D. H., Brown C. M.: *Computer Vision*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New York 1982;
5. Tadeusiewicz R., Korochoda P.: *Computer Analysis and Image Processing*. Publication Foundation of Progress of Telecommunication, Cracow, 1997;
6. Kwiatkowski W.: *Method of Autoprobes of Standards*. IAI R WCY WAT, Warsaw 2001;
7. Hough P. V. C.: *Method and Means for Recognizing Complex Patterns*. U.S. Patent 3,069,654, Dec. 18, 1962;
8. Leavers V. F.: *Shape Detection in Computer Vision Using the Hough Transform*, Springer, London 1992;

9. Żorski W., Foxon B., Blackledge J., Turner M.: *Irregular Colour Pattern Recognition Using the Hough Transform*. Bulletin on Institute of Automation and Robotics MUT, 15, 2001, pp. 27-42;
10. 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;
11. Żorski W., Żak A., Tuner M., *Hardware Implementation of the Hough Technique for Irregular Colour and Grey-level Pattern Recognition*, Biuletyn IAIiR WAT 17/2002, Warszawa 2002, pp. 25-44;
12. Żak A., *Koncepcja implementacji techniki Hougha w strukturach PLD*, Materiały XVI Sympozjum Koła Zainteresowań Cybernetycznych, Warszawa 2000, s. 125-129.

dr hab. inż. Bogdan Żak
Akademia Marynarki Wojennej
Wydział Mechaniczno-Elektryczny
81-127 Gdynia
ul. Śmidowicza 69
e-mail: b.zak@amw.gdynia.pl

Numer identyfikacyjny ORCID: 0000-0003-1010-3911