

Marcin BREITSPRECHER<sup>1</sup>, Artur KUJAWSKI<sup>2</sup>, Jacek TROJANOWSKI<sup>3</sup>

## Analiza obrazu wizyjnego jako narzędzie naprowadzania jednostek śródlądowych na wybranym odcinku rzeki Odry

### 1. WSTĘP

Wprowadzenie systemu RIS czyli zharmonizowanych usług informacji rzecznej zmierzające do zwiększenia wydajności transportu wodnego śródlądowego wymaga zastosowania skutecznych technologii zarządzania ruchem statków. Wykorzystanie rozwiniętych technologii informacyjnych i komunikacyjnych, systemów łączności, przetwarzania i transmisji danych oraz ich archiwizowania musi być skuteczne, zatem oparte na prostych systemach. Wskazaniem byłoby wykorzystanie już istniejących i sprawdzonych w działaniu, powszechnie stosowanych metod i systemów co zapewniłoby niezawodność proponowanych rozwiązań. Powinno to wpłynąć na poprawę bezpieczeństwa żeglugi przy jednoczesnym zwiększeniu poziomu ochrony środowiska naturalnego. Wykorzystanie funkcjonujących już systemów i urządzeń, łączenie ich funkcji i ich adaptacja do potrzeb nawigacji śródlądowej może wzbogacić ofertę systemu RIS.

Specyfikacje techniczne dla systemów kontroli ruchu statków na śródlądowych drogach wodnych objętych systemem RIS uwzględniają wymagania techniczne dotyczące funkcjonowania systemu, takie jak:

- elektroniczne mapy nawigacyjne pozwalające zobrazować pozycje statków w stosunku do torów wodnych;
- aplikacje internetowe;
- ECDIS śródlądowe dla komunikatów dla kapitanów;
- systemy raportowania do celów gromadzenia informacji na temat danych związanych z rejsem;
- automatyczne systemy identyfikacji AIS.

<sup>1</sup> Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny, e-mail: [m.breitsprecher@am.szczecin.pl](mailto:m.breitsprecher@am.szczecin.pl)

<sup>2</sup> Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Inżynieryjno-Ekonomiczny Transportu, e-mail: [a.kujawski@am.szczecin.pl](mailto:a.kujawski@am.szczecin.pl)

<sup>3</sup> Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Inżynieryjno-Ekonomiczny Transportu, e-mail: [j.trojanowski@am.szczecin.pl](mailto:j.trojanowski@am.szczecin.pl)

Wszystkie te elementy są istotne z punktu widzenia Centrum RIS oraz statku jednak kapitanowi, dla przygotowania się do podejścia do trudnych nawigacyjnie miejsc, obiektów w tym budowli hydrotechnicznych, pomocnym byłby prosty system obserwacji bezpośredniej w czasie rzeczywistym oraz zobrazowanie rzeczywiste tych miejsc przedstawione z określonym wyprzedzeniem w czasie. Można to zrealizować, z pewnymi zastrzeżeniami, z wykorzystaniem CCTV [6]. Zarówno obraz pochodzący z kamer stacjonarnych, montowanych w miejscach newralgicznych jak i ze statków mógłby być dystrybuowany i wykorzystywany przez wszystkich zainteresowanych, w tym kapitanów statków. Obraz powinien jednak być poddany stosownej obróbce w celu przeprowadzenia prostej, łatwej i taniej transmisji. Tak przygotowany powinien także zawierać elementy ułatwiające jego interpretację ze szczególnym uwzględnieniem nawigacji pilotażowej.

## 2. ANALIZA PROBLEMU

W dalszej części zostaną przedstawione algorytmy analizy obrazu w celu rozpoznania linii nabrzeża oraz wektoryzacji linii pomocniczych wspomagających klasyczne podejście nabieżników w celu poprawy bezpieczeństwa żeglugi śródlądowej.

Aby móc zastosować transmisję video w systemach naprowadzania jednostek pływających napotkamy na szereg trudności w bezpośrednim przesyłaniu nieobrobionego sygnału video z punktu docelowego do obiektu poruszającego się po szlaku wodnym. Przepływność takiego sygnału biorąc pod uwagę rozdzielczość kamer przemysłowych nawet po binaryzacji do rozdzielczości 480x360 pikseli i użyciu kodeka MPEG-2 (w celu kompresji obrazu) daje znaczną przepływność bitów, którą można obliczyć mnożąc ilość klatek na sekundę z ilością pikseli oraz ilością kanałów koloru [5].

Tutaj z pomocą przychodzą algorytmy przetwarzania obrazu w czasie rzeczywistym. Obraz zostaje obrobiony do postaci minimalnej, po której zawiera niezbędną ilość informacji aby znacznie obniżyć ilość bitów przesyłanych.

Aby móc dokonać transformacji należy dokonać konwersji oryginalnego kolorowego obrazu do skali szarości. Jako, że w tradycyjnym podejściu reprezentacji kolorów obrazu pozyskanego z kamery CCTV stosuje się model RGB, który jest modelem addytywnym. Każdy punkt, znajdujący się wewnątrz sześcianu barw reprezentowany jest przez wektor  $[R, G, B]$ . Ta reprezentacja wektora poszczególnych składowych kolorów jest podobna do przetwarzania obrazu ustalona przez receptory ludzkiego oka [7]. Do efektywnej analizy obrazów oraz w celu zmniejszenia ilości przetwarzanych informacji obraz kolorowy RGB konwertuje się

do skali szarości. Do efektywnych rozwiązań należą dwa przypadki zamiany obrazu kolorowego na skalę szarości. Pierwszy z nich polega na odseparowaniu poszczególnych kanałów Red, Green, Blue od siebie oraz zamianę poszczególnych kanałów na trzy odrębne obrazy. W drodze eksperymentów uznano, że w dominującym kolorem w 75% przypadków będzie kolor niebieski (tafla wody, niebo) i jako główna składowa łatwo zostanie odseparowana od nabrzeża co w znacznym stopniu ułatwi detekcję nabrzeża i wektoryzację oraz wyznaczenie linii pomocniczych nabieżnika. Drugim sposobem jest zamiana kolorowego obrazu RGB na składowe YUV gdzie Y to luminancja a UV posiada informację na temat barwy. Po takiej konwersji nadal mamy do czynienia z obrazem kolorowym, lecz odseparowanie luminancji od składowych barwy umożliwi wyodrębnienie większej ilości konturów pomiędzy przejściami poszczególnych pikseli barwnych sąsiadujących ze sobą.

Głównym celem zastosowania filtracji obrazu jest polepszenie oryginału pozyskanego z kamery CCTV by móc później odseparować interesujące nas obszary a pozostałe wyeliminować lub w miarę możliwości zniwelować (odciąć od obrazu oryginalnego).

Obraz z kamery przemysłowej jest specyficznym rodzajem obrazu. Jego parametry określone są na podstawie rodzaju oraz wielkości fizycznej zastosowanej matrycy. Stosowane standardowo rozdzielczości kamer w monitoringu miejskim to zakres od 380 do 520 linii w zależności czy jest to kamera kolorowa czy kamera z przetwornikiem kolorowym. W przypadku konieczności weryfikacji osób lub tablic rejestracyjnych poruszających się szybko pojazdów należy rozważyć kamery o wyższej rozdzielczości, nawet do 680 linii. Takie rozdzielczości są wystarczające w zastosowaniach monitoringu miejskiego ale czy spełniają swoją rolę w układach obserwacyjnych tory wodne?

Kolejnym problemem jaki możemy napotkać instalując kamery CCTV w newralgicznych punktach akwenów wodnych jest spora odległość przesyłowa kablami do transmisji sygnałów video. Należy zwrócić uwagę, że w sieciach rozległych mogą wystąpić nieusuwalne zniekształcenia obrazu związane z transmisją na odległość. Gdy zastosuje się kable miedziane nie obserwuje się wpływu zaszumienia na odległościach do 300 m. Przy dłuższych odległościach należy zastosować wzmacniacze sygnałów. Przy przesyłaniu sygnału analogowego na odległościach powyżej 1000m należy zastosować przewody światłowodowe w celu wyeliminowania strat jakości sygnałów [1].

Rozważmy przykładowy sygnał analogowy pozyskany z kamery przemysłowej z przetwornikiem CCTV o rozdzielczości 480 linii. Podczas agregacji sygnału analogowego konieczna jest binaryzacja, której celem jest znaczna redukcja ilości informacji zawartych w obrazie. Zamienia ona obrazy o wielu poziomach szarości na obrazy binarne. Binaryzacja

sprowadza się do tego aby obraz  $f(x, y)$ , którego piksele przyjmują wartości z przedziału  $L_{min} < l < L_{max}$  zamienić na obraz  $b(x, y)$ , którego piksele przyjmują wyłącznie wartości 0 lub 1.

Jedną z metod filtracji obrazu w celu wyodrębnienia interesujących szczegółów są metody konwolucyjne a w szczególności liniowe filtry górnoprzepustowe. Uwzględniają, one pewne otoczenie aktualnie rozważanego punktu, wyodrębniając z obrazu składniki odpowiedzialne za szybkie zmiany jasności (kontury, krawędzie, elementy faktury).

Splotem dwóch funkcji  $x(t)$  i  $h(t)$  nazywamy funkcję  $y(t)$  zdefiniowaną następująco [9]:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau)h(t - \tau)d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau)x(t - \tau)d\tau$$

Splot opisuje operację filtracji jednego sygnału przez drugi (np.  $x(t)$  to sygnał filtrowany, a  $h(t)$  – sygnał filtrujący). Kolejność operacji podczas splotu jest następująca: 1) odwróć w czasie drugi z sygnałów ze względu na  $\tau$ :  $h(\tau) \rightarrow h(-\tau)$ , 2) przesuń go w czasie o czas  $t$ :  $h(-\tau) \rightarrow h(t-\tau)$ , 3) wymnóż pierwszy sygnał ze zmodyfikowanym drugim:  $x(t)h(t-\tau)$ , 4) scałkuj wynik mnożenia [9].

W praktyce konwolucja z maską o rozmiarze 3x3 sprowadza się do wykonania następujących operacji dla każdego piksela obrazu  $f$ .

$$g(x, y) = w_1 f(x-1, y-1) + w_2 f(x-1, y) + w_3 f(x-1, y+1) + w_4 f(x, y-1) + w_5 f(x, y) + w_6 f(x, y+1) + w_7 f(x+1, y-1) + w_8 f(x+1, y) + w_9 f(x+1, y+1)$$

### 3. PORÓWNANIE FILTRÓW

Podczas testów przeanalizowane zostały następujące filtry wyodrębniające krawędzie:

- Prewitt'a
- Sobel'a
- Canny'ego

Filtracja Canny'ego w odróżnieniu od szeroko stosowanych filtrów gradientowych i przekształceń wykorzystywanych w detekcji krawędzi narzuca kryteria, które mają na celu osiągnięcie lepszych rezultatów w przetwarzanym obrazie. Celem metody Canny'ego jest znalezienie optymalnego algorytmu wykrywania krawędzi co sprowadza się do spełnienia założeń wymienionych poniżej:

- skuteczna detekcja
- prawidłowa lokalizacja
- minimalny błąd odpowiedzi

Kryterium skutecznej detekcji określa zdolność detektora (algorytmu) do odnalezienia maksymalnej możliwej liczby krawędzi i tym samym zminimalizowania ryzyka pominięcia jakiegokolwiek z nich. Kryterium to określa potrzebę optymalizacji obrazu pod kątem stosunku wartości sygnału do szumu. Kryterium prawidłowej lokalizacji stanowi o tym by błąd położenia wykrytej krawędzi w stosunku do krawędzi rzeczywistej był jak najmniejszy czyli aby odległość między krawędzią na badanym obrazie i krawędzią wykrytą była jak najmniejsza. Z kolei kryterium minimalnego błędu odpowiedzi sprowadza się do wyeliminowania pomyłek detektora powstałych na wskutek zakłóceń (szumów) w obrazie, które prowadzą do „wykrywania” fałszywych krawędzi. Kryterium to stanowić ma spełnienie definicji modelu idealnej krawędzi skokowej, dla której odpowiedzią detektora dla każdej krawędzi na obrazie powinna być linia złożona z pojedynczych pikseli.

Bazując na wyżej opisanych kryteriach detektor krawędzi Canny’ego miał za zadanie wyznaczenie na badanym obrazie tylko istotnych krawędzi, uzyskanie ich ciągłości oraz wykreślenie linii o szerokości jednego piksela. Przebieg etapów algorytmu Canny’ego opisano poniżej.

W celu redukcji szumów w badanym obrazie należy dokonać jego splotu z filtrem, który bazuje na pierwszej pochodnej funkcji Gaussa. Operacja ta prowadzi do lekkiego rozmycia oryginalnego obrazu jednak w znacznym stopniu redukuje ewentualne zakłócenia. Zasadą jest, że przyjęcie szerszej maski filtru Gaussa prowadzi do większego rozmycia obrazu i bardziej uodparnia algorytm na błędy detekcji związane z szumem. Z drugiej strony należy jednak pamiętać, że szersza maska wprowadza większy błąd lokalizacji krawędzi.

Po filtracji Gaussa obraz wynikowy należy zbadać pod względem krawędzi, które mogą przebiegać w różnych kierunkach. Do tego celu wykorzystano operator Sobel’a obliczający pochodną kierunkową za pomocą operacji splotu badanego obrazu z maskami aproksymującymi składowe gradientu. Maski te są macierzami o wymiarach 3x3 (patrz rys. 1) i odpowiadają za wykrycie krawędzi (wyznaczenie gradientu) w kierunku poziomym i pionowym. Maski aproksymujące Sobel’a wyglądają następująco [2]:

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \quad S_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & +1 \end{bmatrix}$$

Natężenie gradientu oraz jego kierunek są następnie wyznaczone za pomocą wzorów [2]:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

$$\Theta = \arctan\left(\frac{G_x}{G_y}\right)$$

Na tej podstawie wyznaczany jest kąt przebiegu krawędzi, którą należy zakwalifikować do określonego kierunku. Stąd wyznaczamy, że krawędź przebiega:

- poziomo ( $0^\circ$ ), gdy obliczony kąt zawiera się w granicach  $0^\circ$ – $22.5^\circ$  lub  $157.5^\circ$ – $180^\circ$ ;
- pionowo ( $90^\circ$ ), gdy  $67.5^\circ$ – $112.5^\circ$ ;
- po przekątnych ( $135^\circ$  lub  $45^\circ$ ), gdy obliczono odpowiednio  $112.5^\circ$ – $157.5^\circ$  lub  $22.5^\circ$ – $67.5^\circ$


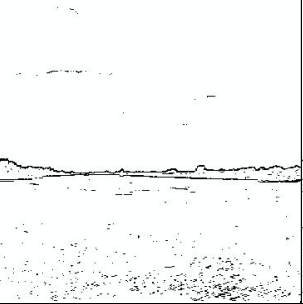
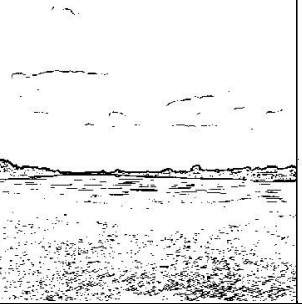
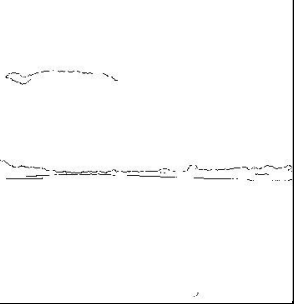
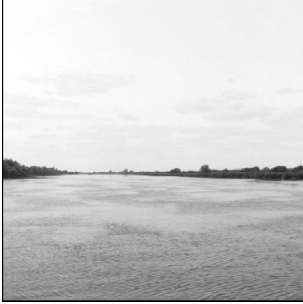
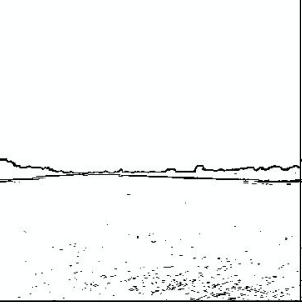
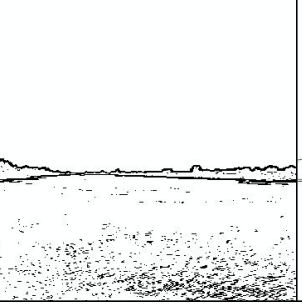
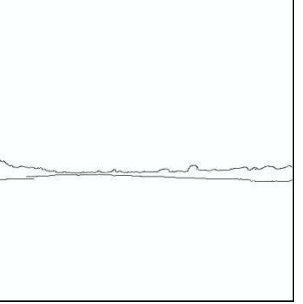
Następnym etapem jest usuwanie „nie-maksymalnych” pikseli. Należy usunąć z obrazu nieistotne piksele. W tym celu dokonujemy przejścia wzdłuż krawędzi na mapie gradientowej i badamy otoczenie każdego punktu w kierunku prostopadłym do wyznaczonego gradientu w tym punkcie. Jeśli natężenie gradientu będzie większe od otoczenia tego punktu to taki punkt będzie należał do krawędzi. W przeciwnym wypadku zostanie on wygaszony i w ten sposób uzyskamy cienką linię – krawędź na obrazie wyjściowym.

Ostatnim etapem algorytmu jest zastosowanie progowania z histerezą, które ma na celu wyeliminowanie smug oraz efektu rozdzielania krawędzi („poszatkania” linii). W poszukiwaniu krawędzi bardzo często dochodzi do sytuacji w której nie można jednoznacznie określić czy dany piksel należy do szukanej krawędzi czy też nie. Dlatego przeprowadzona jest histereza z podwójnym progiem – wysokim (T1) i niskim (T2) (. Zasady określające przynależność punktu do krawędzi (lub nie) są następujące:

1. Każdy piksel, którego wartość przekracza wartość progu T1 jest uznawany za piksel należący do krawędzi
2. Piksel stanowiący otoczenie badanego wcześniej, jeśli średni gradient przekracza wartość progu T2 – uznawany jest za piksel krawędzi.
3. Jeżeli wartość piksela nie przekracza progu T2 uznajemy, że nie należy on do krawędzi i jest on wygaszany.

W ten sposób otrzymujemy mapę bitową, na której znajdują się wykryte krawędzie przedstawione w postaci możliwie ciągłych cienkich linii.

Tabela 1 Zestawienie przekształceń obrazu filtrami liniowymi

Oryginał / Luminancja Y	Przeksz. Sobel'a	Przeksz. Prewitt'a	Przeksz. Canny'ego
			
Oryginał / Kanał Blue	Przeksz. Sobel'a	Przeksz. Prewitt'a	Przeksz. Canny'ego
			

Testy wykazały, że odseparowanie kanałów zielonego i czerwonego od niebieskiego daje lepsze rezultaty filtracji pozyskanego obrazu. Spośród filtrów branych pod uwagę jedynie przekształcenie Canny'ego odseparowało całkowicie elementy chmur oraz wodę pozostawiając linie brzegową.

#### 4. WYNIKI WEKTORYZACJI

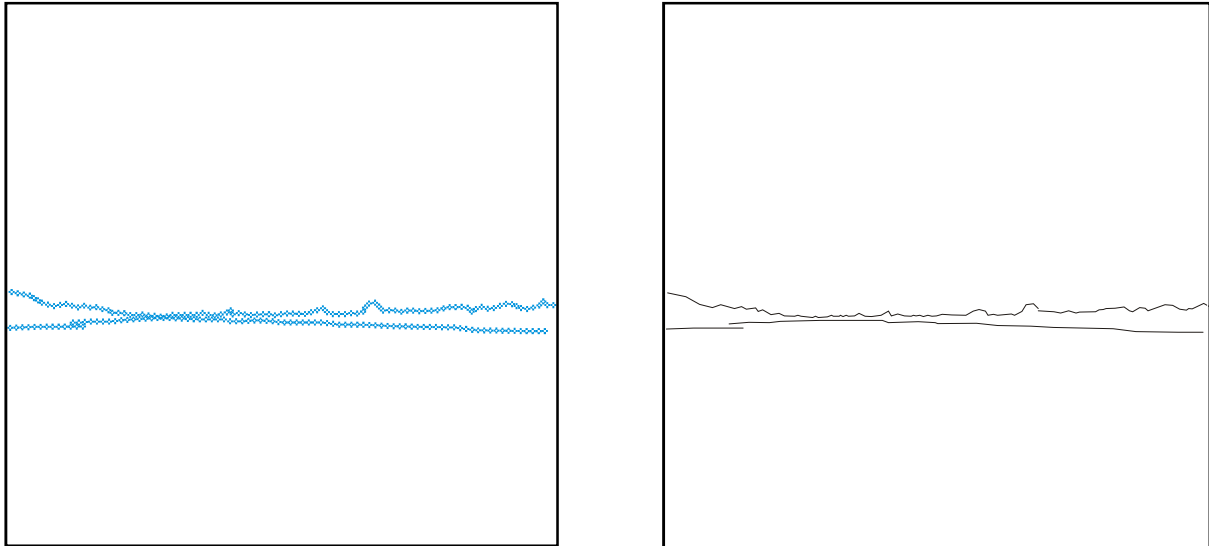
Do dalszej obróbki został wybrany właśnie ten algorytm. Wektoryzacja mapy bitowej została zastosowana przy pomocy algorytmów wykrywania pikseli i przyporządkowania ich do odpowiednich zbiorów. W praktyce istnieje wiele sposobów zrekonstruowania zbioru wektorów obrazu rastrowego.

Algorytm, który łączy ze sobą skuteczność i szybkość przetwarzania obrazów video w czasie rzeczywistym ze skutecznością wektoryzacji nawet linii nieciągłych (przerywanych na pewnych odcinkach) został zaprezentowany w [8]. Opiera się on na połączeniu wektoryzacji metodą kodu Freemana oraz metodzie śledzenia krawędzi [4]. Metoda kodu Freemana zwana także metodą kodów łańcuchowych charakteryzuje się wyjątkową skutecznością. Została opisana w roku 1961 przez amerykańskiego naukowca Herberta Freemana w [3].

Algorytm tworzy dwie tablice rozpoczynając śledzenie punkt po punkcie kolejnych pikseli różniących się między sobą. Algorytm przeszukuje tablice elementów zapisując w wektorach współrzędne zapalonych pikseli i weryfikuje je z kolejnym wektorem w celu sprawdzenia czy współrzędne danego piksela nie zostały uprzednio dodane do tablicy. Uniknięto po-



wielania wyodrębnionych wcześniej pikseli co zmniejszyło znacznie czas obliczeń oraz wielkość wynikową obu macierzy. Freeman zastosował również wartość odchylenia  $d_{max}$  w celu jak najdokładniejszego odwzorowania współrzędnych wektorów z obrazem oryginalnym. W trakcie procesu wektoryzacji sprawdzane jest czy punkty znajdujące się w tablicy wynikowej nie odbiegają od współrzędnych wektora wynikowego o zadaną wartość odchylenia.



Rys. 1. Obrazy wynikowe po zastosowaniu metody z [8]:

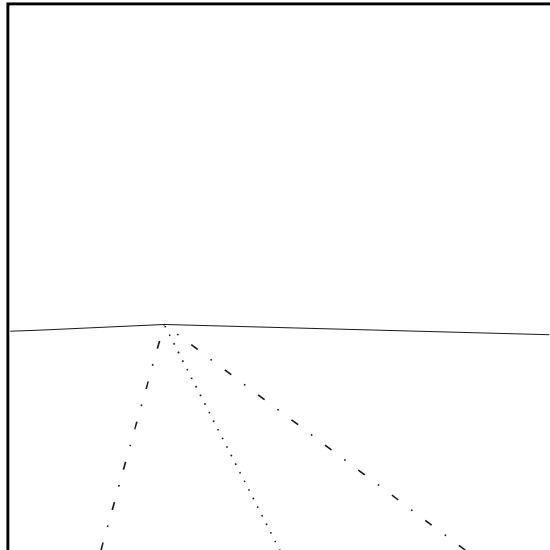
a) zbiór współrzędnych znalezionych punktów

b) wyrysowane linie pomiędzy punktami

Aby całkowicie odseparować linię brzegową należy obciąć informację o punktach zawierających linię drzew na tle nieba, która na tym etapie nie jest nam potrzebna. Zrealizować można to stosując prosty algorytm przeszukiwania punktów i porównania najniższego punktu ze zbioru punktów przynależących do wektora opisującego krawędzie drzew. Algorytm wyszukuje współrzędnych punktów zapisanych w wierszach macierzy wynikowej i odcina całość informacji znajdującej się w tym punkcie jak i w najbliższym jego sąsiedztwie.

Wyznaczanie linii pomocniczych (tzw. wirtualnego nabieżnika) odbywa się na podstawie dwóch punktów tworzących odcinek od środka obrazu wynikowego do linii przecięcia się zwektoryzowanego nabrzeża. W naszym przykładzie posłużyliśmy się trudnym przypadkiem, w którym linia brzegowa schodzi się na horyzoncie. W innych przypadkach wystarczy wyznaczyć środek odległości od końca jednego zwektoryzowanego odcinka linii brzegowej do drugiego.





**Rys. 2. Wyznaczanie wektorowych linii pomocniczych:**

a) wynik wyznaczenia linii pomocniczych

b) zestawienie otrzymanej grafiki wektorowej z oryginalnym obrazem

## 5. WNIOSKI

W wyniku zastosowania opisanych przekształceń obrazu oryginalnego otrzymujemy reprezentację graficzną linii pomocniczych wyznaczających bezpieczną granicę nawigacyjnych punktów nawigacyjnych oraz linię z osią centralną. Algorytm Canny'ego oraz wektoryzacja binarnej reprezentacji obrazu metodą kodów Freemana i metody śledzenia krawędzi dały zadowalające rezultaty wyznaczenia linii nabrzeża, które posłużyły jako punkt odniesienia do wyznaczenia osi centralnej. Dodanie linii pomocniczych wyznaczonych na podstawie zwektoryzowanych linii nabrzeża oraz punktów nawigacyjnych może posłużyć jako informacja dla jednostki pływającej o orientacji względem punktów nawigacyjnych na drogach śródlądowych w zastępstwie lub jako informacja wspomagająca dla klasycznych staw nabieżników.

**ANALIZA OBRAZU WIZYJNEGO JAKO NARZĘDZIE NAPROWADZANIA JEDNOSTEK  
ŚRÓDLĄDOWYCH NA WYBRANYM ODCINKU RZEKI ODRY**

**Streszczenie**

Efektywne algorytmy detekcji obrazu mogą stanowić w przyszłości o bezpieczeństwie żeglugi śródlądowej. W artykule zaproponowano algorytm analizy obrazu w oparciu o detekcję sygnału wizyjnego z kamery przemysłowej (CCTV). Prezentowany algorytm porównany został pod względem efektywności detekcji nabrzeża z innymi algorytmami przetwarzania obrazu, w celu odseparowania istotnych informacji. Wykazano różnice w efektywności poszczególnych algorytmów pod kątem wektoryzacji analizowanych obrazów. Celem przetwarzania obrazu nabrzeża wybranych odcinków rzeki Odry jest efektywne i zautomatyzowane wyznaczanie linii pomocniczych nabieżnika toru wodnego oraz późniejszej transmisji informacji do jednostki pływającej w celu poprawy bezpieczeństwa żeglugi śródlądowej.

**IMAGE ANALYSIS AS A GUIDANCE TOOL FOR VESSELS IN THE ODRA  
RIVER SELECTED AREAS**

**Abstract**

Effective algorithms of image processing may determine safety of inland shipping in the future. The article proposes image detection algorithm which is based on the signal from CCTV camera. The algorithm was compared with other algorithms of image processing in terms of riverside edge detection efficiency. It shows differences between these algorithms in terms of further vectorization. The main goals of the Odra river image analysis are safety purposes and setting of vector guidelines to support leading lights in inland navigation waterways, and then transmitting the signal to the ship.

**LITERATURA**

- [1]. Breitsprecher M., Kujawski A., Trojanowski J., „Video signal transmission in RIS-covered area monitoring systems”, Polish Journal of Environmental Studies, Inland Shipping, Szczecin 9-10.07.2009;
- [2]. Canny J., „A Computational Approach to Edge Detection”, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. PAMI-8, No. 6, Listopad 1986;
- [3]. Freeman H., “On the encoding of arbitrary geometric configurations”, IRE Transactions on Electronic Computers, vol. 10, no. 2, pp. 260–268, 1961;
- [4]. Klette R., Zamperoni P., „Handbook of image Processing Operators”, Wiley & Sons Ltd., Chichester, England 1996;
- [5]. Rueda L., Mery D., Kittler J., “Progress in Pattern Recognition, Image Analysis and Applications”, 12th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition, CIARP 2007 Viña del Mar-Valparaiso, Chile, November 13-16, 2007 Proceedings, strony 311-320;

- [6]. Trojanowski J., „Technologia Tworzenia Informacyjnego i Matematycznego Zabezpieczenia Systemów Zautomatyzowanego Zarządzania Ruchem Statków na Śródlądowych Drogach Wodnych” - praca habilitacyjna - Sankt-Petersburski Państwowy Uniwersytet Wodnych Komunikacji - 2009;
- [7]. Wojnar L., Kurzydłowski K. J., Szala J., „Praktyka analizy obrazu”, Polskie Towarzystwo Stereologiczne, Kraków 2002;
- [8]. Zachara M., “Szybka metoda wektoryzacji krawędzi odcinkami w czasie rzeczywistym”, Automatyka, Tom 10, Zeszyt 3, Kraków 2006;
- [9]. Zieliński T. P., „Cyfrowe przetwarzanie sygnałów od teorii do zastosowań”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005;