

dr inż. Andrzej Typiak
Wojskowa Akademia Techniczna

WYKRYWANIE ROŚLINNOŚCI I PRZESZKÓD WODNYCH W OTOCZENIU POJAZDU BEZZAŁOGOWEGO

W referacie przedstawiono wyniki prac doświadczalnych nakierowanych na wykrywanie zielonej roślinności i przeszkód wodnych w otoczeniu pojazdu bezzałogowego. Do wykrywania roślinności stosowano analizę obrazów wideo poprzez dokonanie ich segmentacji, klasyfikacji obiektów i segmentację poprzez zastosowanie działu wodnego. Do wykrywania przeszkód wodnych wykorzystywano kamery kolorowe i LADAR.

DETECTION OF VEGETATION AND WATER OBSTACLES IN SURROUNDINGS OF UNMANNED GROUND VEHICLE

Results experimental research focusing on detect vegetation and water obstacles in surroundings of unmanned vehicle are presented. To detect vegetation analysis video images through their segmentation, objects classification, and segmentation through watershed using is applying. To water obstacles detect color video camera and laser telemeter are used.

1. WPROWADZENIE

Problematyka wykrywania przeszkód, oraz metod ich omijania jest szeroko opracowana w robotyce. Istniejące algorytmy omijania przeszkód mogą być stosunkowo łatwo adaptowane do pojazdów poruszających się w zurbanizowanym terenie, trudniej jednak jest je adaptować do pojazdów poruszających się w terenie niezurbanizowanym. Wynika to głównie z powszechnego założenia przy analizie otrzymanych obrazów, że powierzchnia gruntu jest płaska. Przy analizie obrazów rejestrowanych w terenie, należy podzielić obszar wokół pojazdu na łaty i określić pochylenie poszczególnych łat w celu wyboru tych, które (ze względu na duże pochylenie) mogą stanowić przeszkodę dla pojazdu. Analiza terenu dokonywana była w oparciu dane z dalmierza laserowego i systemu stereowizyjnego. Poza wykrywaniem widocznych przeszkód możliwe jest gromadzenie danych o położeniu przeszkód w odrębnej bazie, co pozwala na budowę symbolicznej reprezentacji terenu określaną mianem „mapy przeszkód”.

Chociaż geometryczna reprezentacja terenu i wykrytych przeszkód są bardzo ważnymi zadaniami to nie są one wystarczające do zapewnienia sprawnej nawigacji w niezurbanizowanym terenie. W tym środowisku jest szereg możliwych rodzajów terenu takich jak: gleba, trawa, błoto, przez które pojazd może przejeżdżać na szereg różnych sposobów. Efektywny opis terenu, po którym może przemieszczać się pojazd powinien zawierać zarówno opis geometryczny, jak też informację o rodzaju terenu połączonych przez adaptacyjny system sterowania.

Istnieją dwa zasadnicze podejścia do zagadnienia rozpoznania otoczenia: pierwsze bazuje na analizie obrazów stereo, oraz na analizie koloru obrazów z kolorowej kamery; drugie w oparciu o dane ze skanowania terenu dalmierzem laserowym. Te dwa podejścia są w pewnym stopniu komplementarne w rodzaju sygnałów wykorzystywanych do rozróżniania pomiędzy różnymi rodzajami terenu, reflaktancją powierzchni w pierwszym przypadku i lokalnym statystycznym rozkładem sygnału w drugim. Klasyfikacja na podstawie analizy koloru pozwala jedynie na rozpoznawanie pewnej liczby wyróżniających się klas takich jak:

trawa, liście, pnie drzew, gleba i kamienie. Ponieważ dane stereowizyjne są rejestrowane w kolorze, jest możliwe etykietowanie wykrywanych przeszkód na podstawie informacji o położeniu z rodzajem terenu oszacowanym na podstawie analizy koloru. Głównym wyzwaniem w klasyfikacji obiektów na podstawie koloru jest niejednoznaczność w reflaktancji obiektów pewnych interesujących nas obiektów takich jak: sucha trawa i gleba. Efekt jednakowego widma iluminacji rejestrowanego koloru zwany jest „zadaniem stałego koloru”.

2. ROZPOZNANIE OTOCZENIA POJAZDU NA PODSTAWIE ANALIZY OBRAZÓW WIDEO

Analiza obrazu jest procesem polegającym na wyodrębnieniu z całkowitej informacji docierającej do detektora tej części, która jest istotna z punktu widzenia procesu. Analiza obrazu może być prowadzona przy wykorzystaniu narzędzi programowych i sprzętowych. Narzędzia programowe wyposażone są z reguły w znacznie bogatszy zestaw przekształceń, są więc bardziej uniwersalne. Wadą ich jest stosunkowo długi czas obróbki obrazu, w praktyce mogący uniemożliwić pracę w czasie rzeczywistym [1, 2, 3, 8].

Czynnością spinającą poziom wstępnego przetwarzania obrazu z programami analizy poszczególnych obiektów jest proces segmentacji obrazu. Polega on na podziale obrazu (uprzednio przefiltrowanego) na fragmenty odpowiadające po szczególnym widocznym na obrazie obiektom. Można wyróżnić następujące rodzaje segmentacji: przez podział obszaru, metodą wykrywania krawędzi, przez rozrost obszaru, segmentacja oparta na statystyce, oraz segmentacja obiektów stykających się.

Segmentacja umożliwia wydzielenie obszarów obrazu spełniających pewne kryteria jednorodności. Takimi kryteriami mogą być np. kolor obszaru, poziom jasności, faktura. Obszary uzyskane przez zastosowanie technik segmentacji bardzo często mają swoje odpowiedniki (płaszczyzny, powierzchnie) w rzeczywistej scenie, której obraz poddano obróbce. Najczęściej segmentacja polega bowiem na oddzieleniu poszczególnych obiektów wchodzących w skład obrazu i na wyodrębnieniu ich od tła, na którym występują. Procesowi segmentacji obrazu towarzyszy zwykle indeksacja obiektów, czyli przypisanie do wszystkich pikseli tych obiektów identyfikatorów (etykiet).

Badania segmentacji obrazu wykonywano na odstawie obrazów fragmentów toru pomiarowego oraz jego otoczenia. Jest to płaski teren, na którym usypano dwa kopce ziemne o wysokości ok. 1,5 m każdy, pokryty drobną trawą i porośnięty drzewami. W odległości ok. 100 od początku toru stoi jednopiętrowy budynek (rys. 1).

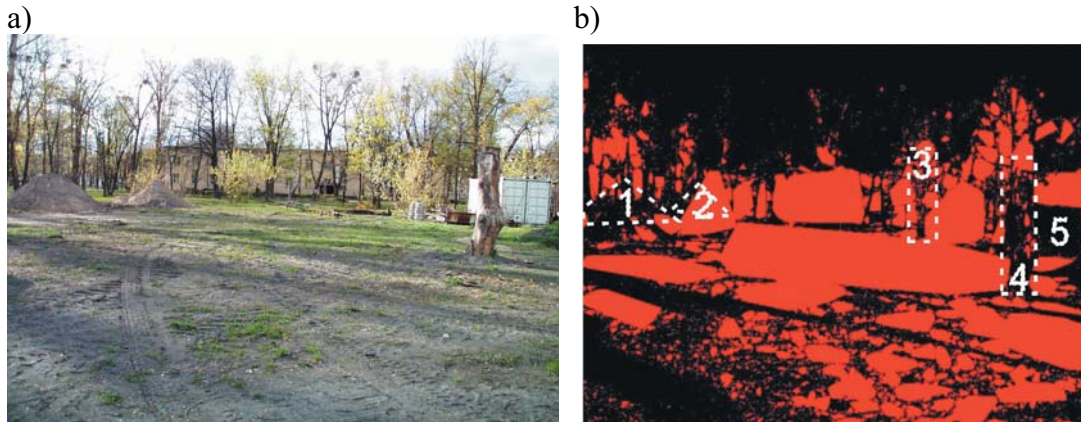
Przeprowadzone badania wykazały, że proces segmentacji cząsteczek umożliwia wyodrębnienie obszarów jednorodnych o stałej reflaktancji. Bardzo istotne znaczenie w tym procesie odgrywa oświetlenie obiektów. Cienie widoczne na rys. 1a tworzą na obrazie (rys. 1b) jednolite obszary.

Pomiary są często jednym z końcowych etapów komputerowej analizy obrazu. Analiza obrazu przebiega najczęściej w następujący sposób:

1. Wstępne przetwarzanie obrazu.
2. Dokonanie pomiarów poszukiwanych cech analizowanego obrazu.
3. Interpretacja otrzymanych wyników ilościowych i podjęcie na ich podstawie odpowiednich decyzji.

Generalnie, pomiarom podlegać mogą dwie kategorie wielkości:

1. Parametry lokalne, które opisują pewien uśredniony element obrazu.
2. Parametry globalne, opisujące cechy grup obiektów lub innych elementów obrazu.



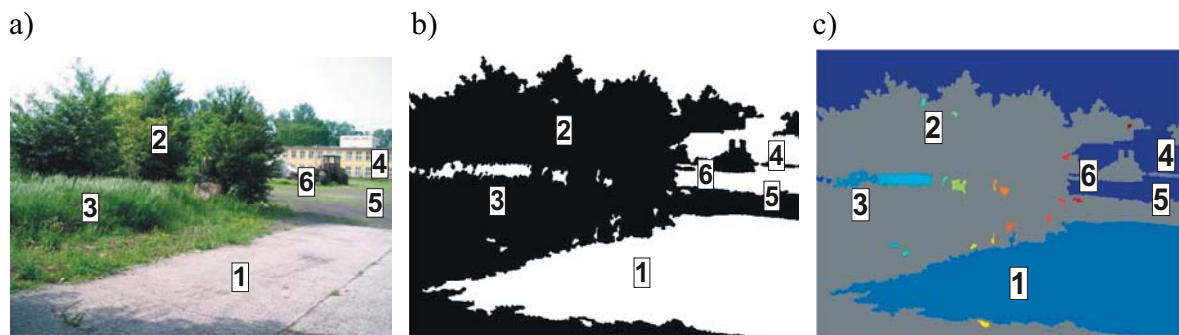
Rys. 1. Wyniki badań segmentacji obrazu: a - widok terenu; b – obraz terenu po procesie łączenia cząsteczek: 1,2 – kopce ziemne, 3, – krzewy, 4 – pień drzewa, 5 – kontener

Klasyfikacja obiektów

Celem prowadzonych prac była klasyfikacja obiektów na podstawie oceny ich kształtów (rys. 2). Badania przeprowadzono wg następującego algorytmu:

1. Wczytanie obrazu.
2. Określenie poziomego podziału binarnego obrazu.
3. Usunięcie szumów.
4. Wyznaczenie granic obiektów
5. Wyznaczenie kształtów obiektów

Przeprowadzone, według przedstawionego powyżej algorytmu, badania klasyfikacji obiektów na obszarach pokrytych roślinnością na podstawie obrazu wideo (rys. 2a) wykazały, że można wyznaczyć kształty obiektów, lecz ich klasyfikacja ogranicza się do oznaczenia oświetlonego terenu płaskiego (1,4,5 – rys. 2c) i obszarów pokrytych zieloną roślinnością (2,3 – rys.2c).



Rys. 2. Wyodrębnienie zielonej roślinności w otoczeniu pojazdu bezzałogowego:
a – wczytanie obrazu; b - binarny podział obrazu; c - wyznaczenie granic obiektów:
1 – podjazd betonowy; krzewy; 3 – kępa trawy; 4 – budynek; 5 – nawierzchnia szutrowa; 6 – maszyna robocza

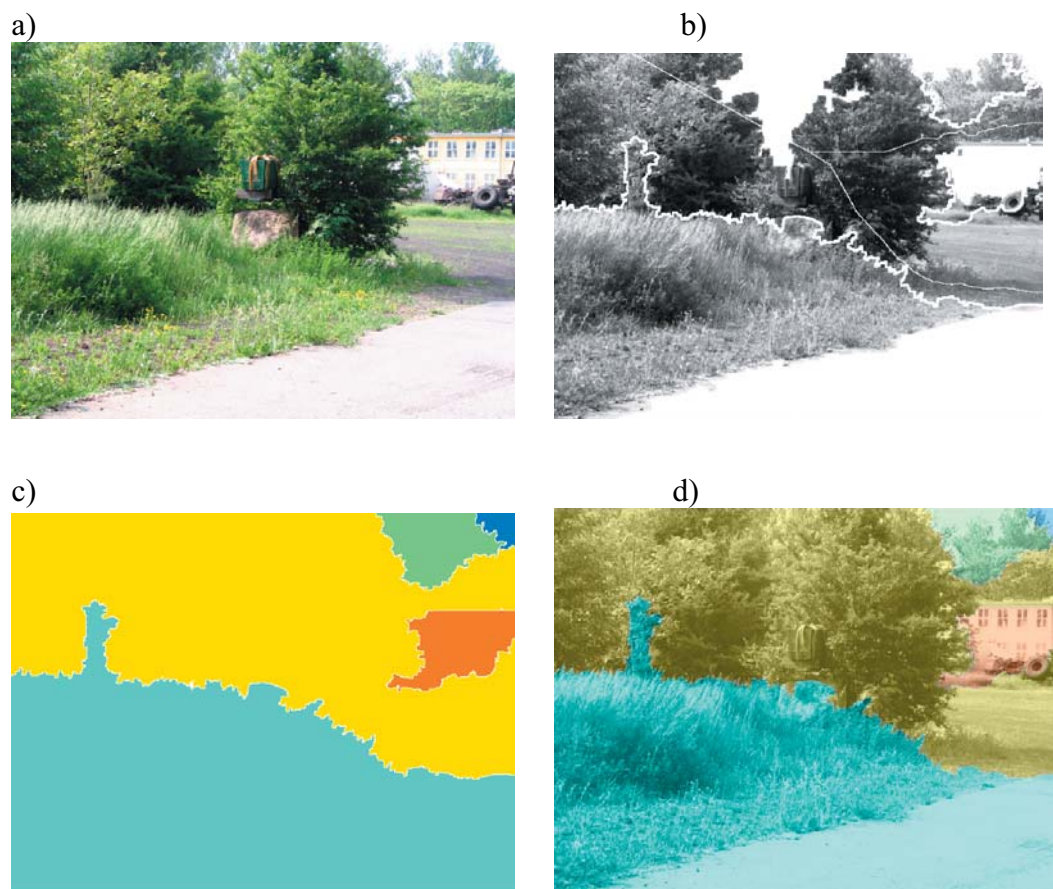
Natomiast w przypadku suchej roślinności i terenów nieporośniętych trawą ich klasyfikacja ogranicza się do rozgraniczenia na obszary jasne (niebo i oświetlony teren) i zacienione.

Segmentacja morfologiczna

Kolejnym istotnym a zarazem trudnym do przeprowadzenia procesem w przetwarzaniu obrazów jest oddzielenie stykających się obiektów. Jednym z bardziej wydajnych narzędzi do przeprowadzenia tej operacji jest transformacja według „działu wodnego”. Transformacja ta pozwala na wyznaczenie „obszarów dorzeczy” i „linii działów wodnych” na obrazie poprzez traktowanie go jako płaszczyzny, gdzie jasne piksele są wysokie a ciemne piksele niskie.

Segmentacja obrazu poprzez zastosowanie transformacji „działu wodnego” pracuje wydajniej jeśli możliwa jest identyfikacja lub oznaczenie obiektów znajdujących się na poziomie gruntu (rys. 3). Algorytm procedury jest następujący:

1. Wyznaczenie funkcji segmentacji.
2. Wyznaczenie pierwszoplanowych znaczników. Łączenie grup pikseli wewnątrz każdego obiektu.
3. Wyznaczenie znaczników tła. Tworzą je piksele, które nie są częścią żadnego z obiektów.
4. Modyfikacja funkcji segmentacji tak, by osiągała minima tylko w znacznikach pierwszoplanowych oraz znacznikach tła.
5. Wyznaczenie transformacji „działu wodnego” zmodyfikowanej funkcji segmentacji.



Rys. 3. Segmentacja obrazu poprzez zastosowanie transformacji „działu wodnego”:
 a – widok analizowanego terenu; b – wyznaczenie granic obiektów na obrazie;
 c – oznaczenie kolorami obszarów; d - naniesienie obszarów na oryginalnym obrazie

Przeprowadzona segmentacja obrazu poprzez zastosowanie transformacji „działu wodnego” wykazała, że morfologiczna rekonstrukcja obrazu w połączeniu z funkcją rozszerzenia obszarów obrazu pozwala na wyznaczenie głównych obszarów na obrazie. Wyznaczenie granic obiektów na obrazie (rys. 3b) i oznaczenie kolorami wyodrębnionych obszarów (rys. 3c) nie umożliwiło jednak wyodrębnienia obszarów „przejezdnych” i „nieprzejezdnych” dla pojazdu.

3. WYZNACZANIE POŁOŻENIA PRZESZKÓD WODNYCH

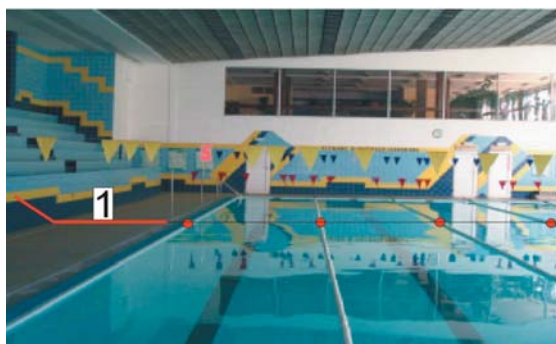
System rozpoznania otoczenia przeznaczony do nawigacji bezzałogowych maszyn i pojazdów lądowych powinien wykrywać wszelkiego rodzaju potencjalne zagrożenia dla jego nawigacji. Jednym z istotnych zagrożeń dla bezzałogowych maszyn i pojazdów przemieszczających się w nierozpoznanym terenie są przeszkody wodne [4,6,9].

W badaniach przeprowadzono analizę wykrywania przeszkód wodnych poprzez wykorzystanie:

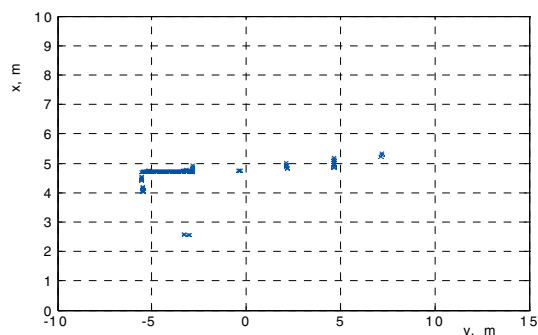
1. Kolorowych obrazów do rozpoznania elementów krajobrazowych odbijanych w wodzie w świetle dziennym;
2. LADARA do wykrywania wstępowania przeszkód wodnych i określania ich głębokości.

Pierwszym etapem badań było wyznaczenie przeszkód wodnych na podstawie obrazów wideo, oraz pomiarów za pomocą dalmierza laserowego. Wyniki analizy zdjęć wykonanych na basenie przy spokojnej i wzburzonej wodzie przedstawione są na rys. 4 i 5. Przy analizie obrazów zastosowano filtr RGB o zmiennych wartościach progów widma.

a)



b)



Rys. 4. Basen ze spokojną wodą: a – widok basenu, 1 – linia skanowania dalmierzem; b – obraz z dalmierza laserowego

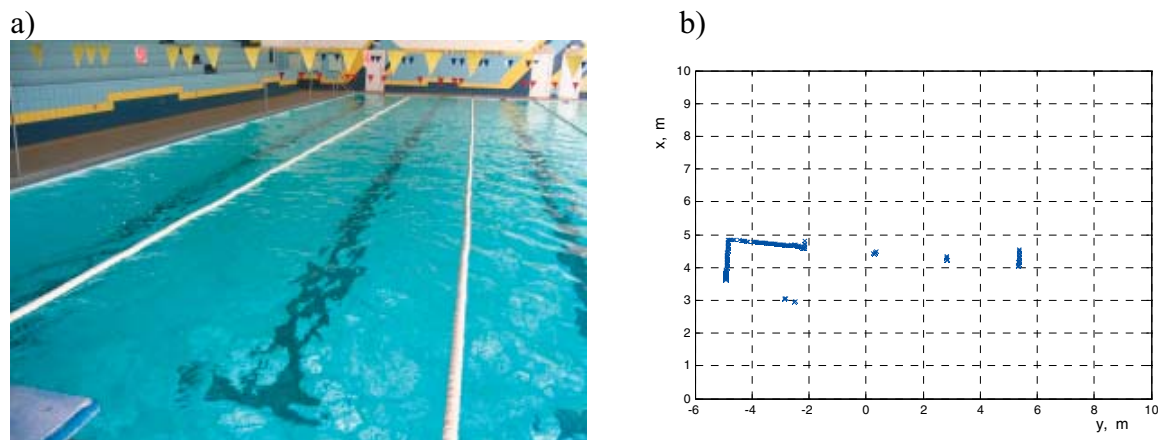
Na rys. 4a widać, że w spokojnej wodzie odbija się całe otoczenie. Stosowanie filtracji nie umożliwia odróżnienia tafli wody od ścian i sufitu. Skanowanie powierzchni wody dalmierzem laserowym (1 - rys. 4a) wykazało, że promienie laserowe są osłabiane w wodzie i jej powierzchnia nie jest „widziana” przez dalmierz.

W wodzie wzburzonej otoczenie nie odbija się (rys. 5) jednak podobnie jak w przypadku wody spokojnej nie jest możliwe odróżnienie tafli wody od otoczenia poprzez zastosowanie filtracji. Również skanowanie powierzchni wody dalmierzem laserowym (1 - rys. 5b) wykazało, że promienie laserowe też są osłabiane w wodzie wzburzonej i jej powierzchnia nie jest „widziana” przez dalmierz.

W warunkach poligonowych zagadnienie wyznaczania obszarów wodnych i terenów pokrytych roślinnością jest o wiele bardziej złożone. W ciągu dnia klasyfikacja koloru obrazu

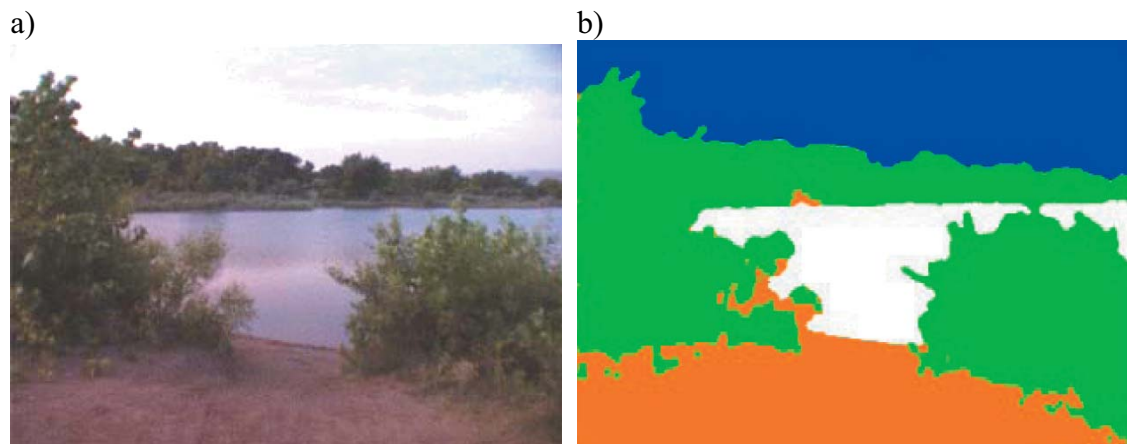
może być użyta do rozpoznania wody poprzez odbicie nieba w wodzie. W terenie otwartym jest to dość niezawodne i stosunkowo łatwe do wyznaczenia. Jeżeli stojąca (spokojna) woda odbija obraz obiektu to może być on wyznaczony poprzez swoje lustrzane odbicie.

Ponadto stereowizja umożliwia porównanie (dopasowanie) odbić i pozwala wyznaczyć zasięg odbijanego obiektu. W rezultacie otrzymujemy niekształtne obiekty o dużych rozmiarach, które mogą być interpretowane do ujawniania wody lub w ostateczności podejrzanego terenu. Prowadzone badania wykazały, że promień lasera bardzo słabo jest odbijany od powierzchni wody i mógłby być wykorzystany do wykrywania terenów pokrytych wodą.



Rys. 5. Basen ze zburzoną wodą: a – widok basenu, 1 – linia skanowania dalmierzem; b – obraz z dalmierza laserowego

Wyznaczanie obszarów nieba na podstawie pomiarów refleksyjności dokonano na podstawie zdjęć terenu. Wyniki prac z zastosowaniem opracowanych filtrów oraz odpowiednio dobranych kolorów dla poszczególnych obszarów (niebo – kolor niebieski, woda – kolor biały i roślinność kolor zielony) przedstawiono na rys. 6 i rys. 7.

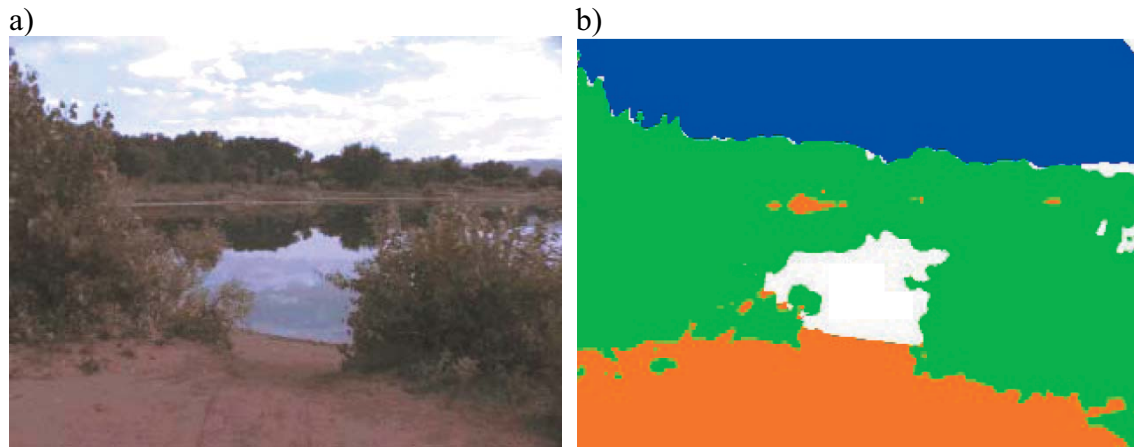


Rys. 6. Wyznaczanie powierzchni wody pofalowanej: a – widok analizowanego terenu; b – rezultat obliczeń

Do prawidłowej realizacji automatycznej nawigacji pojazdu bezzałogowego wymagane jest wykrywanie przeszkód wodnych znajdujących się przed pojazdem jak też obok trasy pojazdu (rys. 8).

Ważnym czynnikiem w wykrywaniu obiektów z wodą jest określenie wysokości lustra wody. Jeżeli będzie on oszacowany powyżej rzeczywistego poziomu o Δh (A - rys. 9) będzie to

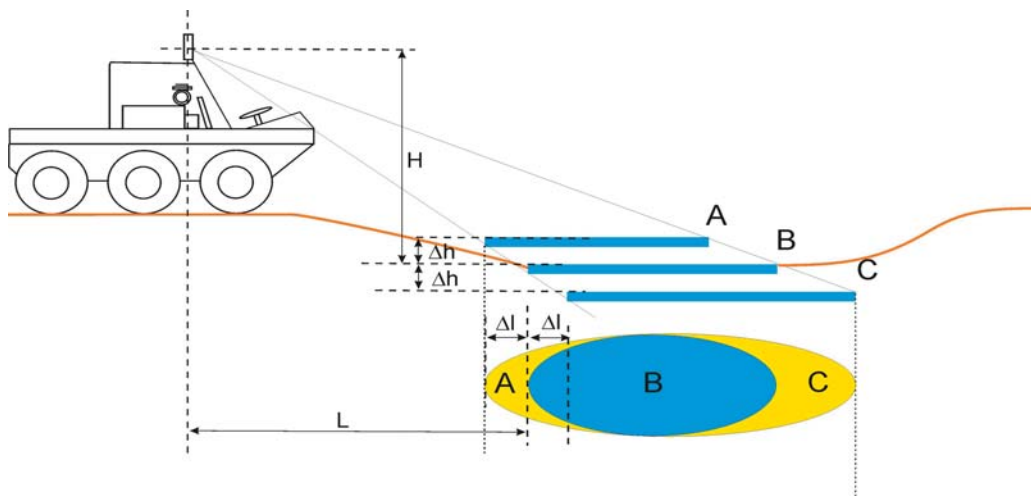
równocześnie interpretowane przez układ sterujący, że przeszkoda jest bliżej pojazdu o Δl . Natomiast zniżenie poziomu lustra wody o Δh (C – rys. 9) będzie jednoznaczne z wyznaczeniem większej odległości do przeszkody niż jest rzeczywista $L + \Delta l$.



Rys. 7. Wyznaczanie powierzchni wody spokojnej: a – widok analizowanego terenu; b – wyniki obliczeń



Rys. 8. Zbiornik wodny znajdujący się obok trasy pojazdu: a – obraz terenu; b – wyznaczenie powierzchni wody



Rys. 9. Szacowanie położenia zbiornika wodnego

4. WNIOSKI

Zagadnieniem bardzo istotnym przy zdalnym sterowaniu pojazdów jest właściwe zinterpretowanie zarejestrowanych przez pokładową aparaturę rozpoznawczą sygnałów. Uwarunkowane to jest głównie przeznaczeniem pojazdu, który w czasie pracy okresowo może poruszać się w warunkach ograniczonej widoczności (mrok, zadymienie) [5, 7, 10, 11]. Przeprowadzona analiza obrazów wideo mająca na celu wyodrębnienie przeszkód w otoczeniu pojazdu i wyznaczenie „mobilnych korytarzy” wykazała złożoności tego zagadnienia i konieczność opracowania nowych filtrów wyznaczania granic obiektów, oraz bardziej wydajnych algorytmów przetwarzania..

Pewne wykrywanie przeszkód wodnych jest krytycznym wymaganiem dla autonomicznej nawigacji BPL. W warunkach dziennych obserwujemy odbicie nieba na powierzchni wody. Przedstawiona w pracy analiza wykazała, że klasyfikacja obrazów pozwala dobrze wyznaczać lustra wody przy czystym, pochmurnym i całkowicie zachmurzonym niebie. Jednak w spokojnej wodzie odbijają się także objekty terenowe (drzewa, wzgórza, budynki, itp.) i klasyfikacja nie jest pewna. Przeprowadzone badania absorpcji promieni laserowych, wykazały, że są one odbijane od gruntu a osłabiane (lub całkowicie pochłaniane) w wodzie.

5. LITERATURA

- [1] Baten S.: *Autonomous road and contour following with a tracked vehicle*. SPIE Conference Unmanned Ground Vehicle Technology II, Orlando, FL, April 2000.
- [2] Bellutta P., Mandchi R., Matthies L., Owens K., Rankin A.: *Terrain perception for Demo III*. Intelligent Vehicles Symposium, Dearborn, MI, 2000.
- [3] Coulson K.L.: *Polarization and Intensity of Light in the Atmosphere*. A. Deepak Publishing, 1988.
- [4] Green R.O., Dozier J.: *Measurement of the spectral absorption of liquid water in melting snow with an imaging spectrometer*. Proceedings of the 1995 AVIRIS Workshop.
- [5] Macedo J., Manduchi R., Matthies L.: *Ladar-based discrimination of grass from obstacles for autonomous navigation*. Seventh International Symposium of Experimental Robotics (ISER), Honolulu, HI, 2000.
- [6] Matthies, L., Bellutta, P., McHenry, M.: *Detecting Water Hazards for Autonomous Off-Road Navigation*. SPIE Conference Unmanned Ground Vehicle Technology, Orlando. 2003.
- [7] Rankin, A., Bergh, C., Goldberg, S., Bellutta, P., Huertas, A., Matthies, L.: *Passive perception system for day/night autonomous off-road navigation*. SPIE Defense and Security Symposium: Unmanned Ground Vehicle Technology VI Conference, Orlando, 2005.
- [8] Rankin, A., Huertas, A., Matthies, L.: *Evaluation of Stereo Vision Obstacle Detection Algorithms for Off-Road Autonomous Navigation*. 32nd AUVSI Symposium on Unmanned Systems, Baltimore. 2005
- [9] Rankin, A., Matthies, L.: *Daytime Water Detection by Fusing Multiple Cues for Autonomous Off-Road Navigation*. 24th Army Science Conference, Orlando. 2004
- [10] Shoemaker C.M., Bornstein J.A.: *Overview and update of the Demo III Experimental Unmanned Vehicle program*. SPIE Conference Unmanned Ground Vehicle Technology, Orlando, FL, 2000.
- [11] Thomanek F Dickmanns E.D.: *Autonomous road vehicle guidance in normal traffic*. ACCV. 1995.