SEKRETARIAT
INSTYTUTU OCEANOGRAFII
Wpłynęło dnia: 14.06.2019
Zarejestrowano pod numerem:
229/19

Gdańsk, dnia 12 czerwca 2019 r.

dr hab. inż. Zbigniew Łubniewski
Politechnika Gdańska
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji
i Informatyki
Katedra Systemów Geoinformatycznych
80-233 Gdańsk, ul. Narutowicza 11/12

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy:

Benthic habitat mapping in the Lagoon of Venice using a multibeam echosounder

Mapowanie habitatów dennych Laguny Weneckiej na podstawie badań echosondą wielowiązkową

Autor rozprawy: **mgr Łukasz Janowski**

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na prośbę Dyrektora Instytutu Oceanografii dr hab. Mariusza Sapoty wystosowanej w imieniu Rady tego Instytutu w dniu 20 marca 2019 r.

1. Temat, cel i zakres rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy wykorzystania metod opierających się na pomiarach z użyciem echosondy wielowiązkowej do klasyfikowania i mapowania morskich habitatów dennych. Opracowanych przez siebie metod Autor rozprawy użył do przetworzenia bardzo dużej ilości wysokorozdzielczych danych pomiarowych zebranych echosondą wielowiązkową Kongsberg EM 2040 DC na terenie dwóch wyróżnionych bardzo płytkich obszarów w obrębie Laguny Weneckiej. Uważam, że Autor rozprawy podjął się rozwiązania, czy raczej, dołożenia swojego własnego, istotnego oryginalnego wkładu do rozwiązania istotnego problemu naukowego, jakim jest opracowanie wiarygodnych, powtarzalnych i dających się zautomatyzować metod badania, klasyfikowania i mapowania dna morskiego i habitatów dennych za pomocą pomiarów hydroakustycznych. W ciągu ostatnich kilku dekad metody oparte na wykorzystaniu urządzeń hydroakustycznych, w tym także, w ostatnim

czasie, na pomiarach sonarem wielowiązkowym, udowodniły swoją użyteczność w różnorakich zastosowaniach związanych z pozyskiwaniem informacji o ekosystemie morskim, w tym o rodzaju dna morskiego i habitatów dennych. Dostarczają one wartościowej informacji m. in. o dnie morza, jego morfologii, osadach dennych, roślinności przydennej itp., jednocześnie będąc, jako zdalna metoda pomiarowa, rozwiązaniem prostszym, wygodniejszym, szybszym i tańszym niż bezpośrednie pobieranie próbek dna czy obserwacja za pomocą kamer podwodnych. Z drugiej strony, w związku z bardzo dużą różnorodnością badanych akwenów i występujących w nich rodzajów materiałów dennych oraz dużą liczbą zjawisk i czynników wpływających na postać rejestrowanego echa od dna, nie zostały do tej pory opracowane metody akustycznego badania i klasyfikowania dna o wysokim poziomie wiarygodności i efektywności a jednocześnie uniwersalne oraz dające się w prosty sposób zautomatyzować. Są więc one wciąż przedmiotem intensywnych badań i generalnie można stwierdzić, że każda praca z niniejszej dziedziny stanowi cenny wkład w metodologię hydroakustycznych badań dna morskiego, a szczególnie praca obejmująca zarówno tak obszerny materiał eksperymentalny, jak i rozbudowane i w istotnym stopniu nowatorskie podejście metodologiczne, jak niniejsza rozprawa doktorska.

Rozprawa liczy 184 strony tekstu zasadniczego i składa się z 9 rozdziałów. Rozprawa zawiera bardzo obszerny wykaz bibliografii, zawierający 270 pozycji, z czego 5 jest współautorstwa doktoranta, a w przypadku 3 spośród nich jest on ich pierwszym autorem. Tekst rozprawy został napisany w języku angielskim.

W rozdziale pierwszym, stanowiącym wstęp, Autor podkreśla wagę badań morza, w tym dna morskiego, metodami akustycznymi, w szczególności za pomocą echosond wielowiązkowych. Przedstawia też zakres rozprawy przytaczając zawartość poszczególnych jej rozdziałów. W rozdziale drugim Autor formułuje tezę i cele rozprawy. Teza rozprawy brzmi: Bentosowe habitaty denne w wodach bardzo płytkich mogą być trafnie, dokładnie rozpoznawane i rozróżniane z użyciem pomiarów echosondą wielowiązkową. Za cel Autor stawia sobie opracowanie konkretnego, składającego się z zależnych od siebie kroków schematu postępowania dotyczącego przetwarzania zarejestrowanych danych z sonaru wielowiązkowego i danych referencyjnych w celu otrzymania wiarygodnych map habitatów dennych, a także opracowanie zautomatyzowanych bądź częściowo zautomatyzowanych narzędzi przetwarzających dane w powyższy sposób i pozwalających nie tylko na otrzymanie map habitatów, ale także, poprzez zastosowanie do powtarzających się pomiarów na tym

samym akwenie, na porównywanie wyników i detekcję zmian w strukturze habitatów w badanym akwenie. Autor rozprawy stawia też 5 bardziej szczegółowo sformułowanych pytań badawczych, na które odpowiada analizując uzyskane wyniki w dalszej części rozprawy. Uważam, że teza oraz cele rozprawy są sformułowane przejrzyście i zrozumiale. Należy przyznać, że są to cele ambitne, szczególnie w części dotyczącej detekcji zmian w strukturze habitatów dennych.

W rozdziale trzecim Autor rozprawy przedstawia interesujący opis obejmujący geografię, hydrodynamikę i geologię obszaru Laguny Weneckiej, z zamieszczeniem też szczegółowych map obszarów objętych badaniami w pracy, tj. kanału pływowego Scanello i cieśniny Chioggia. W rozdziale czwartym Autor opisuje pokrótce podstawy fizyczne hydroakustycznego sondowania dna morskiego, przytaczając najważniejsze zależności dotyczące rozprzestrzeniania się fali akustycznej w toni wodnej i jej interakcji z materiałem dna morskiego, a także opisując wielkości występujące w równaniu sonaru oraz, pokrótce, zasadę działania echosondy wielowiązkowej. W rozdziale piątym Autor rozprawy opisuje aktualny stan rozwoju metod hydroakustycznego mapowania habitatów dennych. Robi to w taki sposób, że opisuje kolejno poszczególne składowe procesu klasyfikacji i mapowania, takie jak wstępne przetwarzanie danych pomiarowych, ekstrakcja cech, selekcja podzbioru cech do użycia w procesie klasyfikacji, klasyfikacja i używane w niej metody, przetwarzanie zbioru danych po klasyfikacji, metody oszacowania jakości klasyfikacji. Należy zaznaczyć, że w wielu podejściach stosowane są właśnie takie etapy procesu klasyfikacji, jednak nie zawsze wszystkie, a niekiedy także stosowane są inne niż przytoczone przez Autora.

W kolejnym, szóstym rozdziale Autor szczegółowo przedstawia proces zbierania danych oraz zaproponowaną, w istotnym zakresie oryginalną, metodologię ich przetwarzania, na początku zamieszczając szczegółowy opis użytej echosondy wielowiązkowej Kongsberg EM 2040 DC wraz z informacjami na temat ustawień dotyczących jej pracy podczas przeprowadzonych pomiarów, procesu kalibracji batymetrycznej itp. Należy podkreślić, że w dużej części przeprowadzonych kampanii pomiarowych w obszarze Laguny Weneckiej uczestniczył osobiście Autor rozprawy. Następnie Autor opisuje sam proces zbierania danych: batymetrycznych oraz dotyczących siły rozpraszania wstecznego na dnie. Opisuje też szczegółowo proces pozyskania danych referencyjnych, tzw. *ground truthing*: jego metodologię, sposób analizy zebranych próbek, występujące ograniczenia itp. Następnie

przechodzi do opisu zaproponowanej przez siebie metodologii przetwarzania danych, która obejmuje:

1. Wstępne przetwarzanie pozyskanych danych hydroakustycznych (batymetrycznych oraz na temat siły rozpraszania wstecznego), w tym ich korekcję wiążącą się ze specyfiką propagacji fali akustycznej w niecałkowicie jednorodnym ośrodku wodnym oraz z uwzględnieniem rzeczywistego, estymowanego z danych batymetrycznych kąta padania fali na powierzchnię dna i kompensacją wpływu jego zmienności na siłę rozpraszania wstecznego, a także konstrukcję rastrowych mozaik batymetrii i rozpraszania wstecznego na dnie dla badanych obszarów.

2. Segmentację badanych obszarów dna poprzez łączenie pikseli z mozaik w „obiekty" – grupy o możliwie jednorodnej charakterystyce, na bazie cech typu „kolor" – tu użyto wartości siły rozpraszania wstecznego, oraz cech typu „kształt" – tu zaś użyto 2 parametrów: gładkość (*smoothness*) i zwartość (*compactness*) obliczanych przez komercyjne oprogramowanie eCognition wykorzystane do realizacji niniejszego etapu przetwarzania. Na to, w jak dużym stopniu scalenie to następowało, tj. jakich średnio rozmiarów powinny być „obiekty" mające reprezentować możliwie jednorodne rodzaje habitatów, decydował parametr „skala" jako wartość podawana przez użytkownika na wejściu procedury segmentacji do oprogramowania eCognition. Autor przeprowadził tę procedurę wielokrotnie dla różnych wartości „skali", testując następnie na różnych wariantach otrzymanych rezultatów procedury właściwej klasyfikacji.

3. Obliczenie, dla mozaik, lokalnych cech na bazie batymetrii (np. nachylenie, krzywizna) oraz na bazie danych o sile rozpraszania wstecznego – parametry oparte na tzw. macierzach wspólnych wystąpień (GLCM), wykorzystywanych następnie w procesie klasyfikacji nadzorowanej. Te pierwsze obliczane były dla bieżących grup pikseli 3 x 3 w mozaice, te drugie – dla obszarów-„obiektów" otrzymanych w wyniku segmentacji w poprzednim kroku.

4. Wybór cech do klasyfikacji (za pomocą algorytmu CART oraz Boruta) oraz właściwą klasyfikację nadzorowaną – za pomocą kilku algorytmów, zarówno klasycznych i prostszych (Bayesa, kNN) jak i opartych na sztucznej inteligencji i uczeniu maszynowym (CART, Random Forest, SVN). Klasyfikacja przeprowadzana była dla wielu różnych wartości skali użytej podczas segmentacji. Pewna część danych referencyjnych (mających charakter punktowy) użyta została jako zbiór uczący, a reszta tych danych, w kolejnym etapie – jako zbiór testowy do weryfikacji wyników. Do identyfikacji klasy habitatu „gąbki" użyte zostało odmienne podejście, oparte na zastosowaniu „dopasowania wzorców" (*template matching*)

bazujące na obliczaniu korelacji pomiędzy wzorcowymi a badanymi bieżącymi fragmentami mozaik siły rozpraszania wstecznego.

5. Szacowanie jakości klasyfikacji (z użyciem współczynnika zbiorczej dokładności klasyfikacji oraz współczynnika kappa) i wybór najlepszych wyników w poszczególnych przypadkach. Wyniki klasyfikacji zostały także przedstawione w postaci map.

6. Dla danych z cieśniny Chioggia, które składały się z 2 zbiorów pozyskanych w tym samym obszarze w odstępie czasowym ok. 3 lat – przeprowadzenie detekcji zmian w zakresie przestrzennej struktury występowania poszczególnych rodzajów habitatów. Do wykonania tego posłużono się procedurą geoprzetwarzania Intersection z wykorzystaniem pakietu oprogramowania ArcGIS.

W kolejnym rozdziale – siódmym Autor przedstawia szczegółowo wyniki otrzymane przez zastosowanie procedur przetwarzania danych opisanych w rozdziale poprzednim. Przedstawione są wyniki poszczególnych etapów przetwarzania, w sposób przejrzysty, za pomocą wysokiej jakości zestawień, wykresów i diagramów, z przytoczeniem bardzo dużej ilości rezultatów przeprowadzonych testów, z podziałem na użytą skalę segmentacji, metodę klasyfikacji itp., z podaniem i porównaniem najlepszych wyników osiągniętych w poszczególnych przypadkach. W najlepszych przypadkach, osiągnięta dokładność klasyfikacji wynosi 86% dla cieśniny Choggia i 76% dla kanału Scanello, co jest dobrym wynikiem. Wyniki klasyfikacji zostały także przedstawione w postaci map badanych akwenów pokazujących estymowany rozkład habitatów. W rozdziale ósmym następuje obszerna dyskusja dotycząca otrzymanych wyników, zawierająca m. in. porównanie dokładności klasyfikacji otrzymanej dla poszczególnych rodzajów klasyfikatorów, w tym także, co jest bardzo cenne, porównanie z wynikami otrzymanymi w podobnych badaniach przez innych autorów z użyciem danego klasyfikatora czy, ogólnie, danego podejścia do problemu. Omówiony jest też wpływ różnorakich ograniczeń na jakość wyników badań, np. ograniczeń wynikających z niedoskonałości kalibracji echosondy wielowiązkowej czy związanych z pozyskiwaniem danych referencyjnych (*ground truthing*). Zawarte są także rekomendacje dotyczące dalszych badań. Ostatni – dziewiąty rozdział rozprawy doktorskiej zawiera jej podsumowanie, w którym Autor wyszczególnia najważniejsze jej osiągnięcia i stwierdza, że teza rozprawy została zweryfikowana pozytywnie, postawione cele zostały osiągnięte, a na wszystkie postawione na początku pytania badawcze należy udzielić pozytywnej odpowiedzi.

2. Ogólna ocena rozprawy

Uważam, że niniejszą rozprawę należy ocenić bardzo wysoko i stwierdzić, że z nadmiarem spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim. Wynika to z już wspomnianych przeze mnie jej wielu zalet, a ponadto należy stwierdzić, że Autor wykonał swoją obszerną pracę badawczą w sposób bardzo staranny i dokładny, a przy tym niezbędne było wykazanie się przez niego wysokim poziomem kompetencji z wielu dziedzin, zarówno z oceanografii, hydrografii, geologii i biologii morza, fizyki zjawisk falowych i hydroakustycznego sondowania ekosystemów morskich, jak i przetwarzania sygnałów, technicznych aspektów pracy urządzeń hydroakustycznych i praktyki badań polowych w morzu, a także metodologii przetwarzania danych pomiarowych, systemów informacji przestrzennej oraz sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego. Zdecydowanie nadaje to interdyscyplinarny charakter niniejszej pracy doktorskiej. W pełni zgadzam się z Autorem, że teza rozprawy została potwierdzona, cele osiągnięte, a na postawione pytania badawcze należy odpowiedzieć pozytywnie. Uważam także, że niniejsza rozprawa doktorska wnosi istotny wkład w rozwój hydroakustycznych metod badania, klasyfikowania i mapowania habitatów dennych, szczególnie na trudnych od strony metodologicznej i technicznej akwenach bardzo płytkich. Szczególne znaczenie ma też to, że uzyskany w wyniku rozprawy materiał badawczy dotyczy obszaru Laguny Weneckiej, gdzie m. in. ma miejsce wymagające konkretnych przeciwdziałań zjawisko zapadania się gruntu i zalewania obszaru, na którym znajduje się unikalny zespół architektoniczny miasta Wenecja. Należy więc w tym kontekście uznać zgromadzony i opracowany materiał badawczy za jeszcze bardziej cenny.

3. Uwagi

Na wstępie chciałbym zaznaczyć, iż wszelkie uwagi krytyczne, jakie mam w stosunku do niniejszej recenzowanej pracy doktorskiej, mają w zasadzie charakter drugorzędny i nie wpływają one na ogólną bardzo pozytywną moją o niej opinię. Należy je raczej traktować jako pewien zestaw, niedoskonałych oczywiście, rad na temat w jaki sposób można by podnieść jeszcze bardziej wartość niniejszej rozprawy.

Po pierwsze, odnosząc się generalnie do przyjętej metodologii opisanych badań, można by mieć wątpliwość czy, skoro badane są wody bardzo płytkie, nie można by po prostu, zamiast stosowania urządzenia hydroakustycznego, zebrać danych o dnie i habitatach z użyciem np. takich metod, jakie m. in. były stosowane przy zbieraniu danych referencyjnych. Mam tu na

myśli np. kamerę podwodną, którą można by umieścić tuż nad dnem i dokonać rejestracji obrazów dla całego badanego obszaru. Można by więc w tekście rozprawy oczekiwać odniesienia się Autora do takiego wariantu postępowania.

Jedna z moich zasadniczych uwag do niniejszej rozprawy doktorskiej dotyczy zawartości Tabeli 7.4 i Tabeli 7.5 ze str. 152 i 154, przedstawiających informację o przyjętych rodzajach habitatów w przypadku danych z cieśniny Chioggia z roku 2013 oraz roku 2016, wraz z przykładami ich obrazów akustycznych. Otóż pierwszy rodzaj habitatu jest w obu przypadkach opisany dokładnie tak samo: "Muds with addition of muddy sands, often covered by benthic vegetation, like: *Carcinus astuarii, Spatanginea sp., Veneridae sp.*", czyli zakładamy dokładnie ten sam rodzaj osadu, natomiast ich obrazy akustyczne wyraźnie się różnią, są też inaczej opisane w jednej i drugiej tabeli – w pierwszej: "Very low backscatter intensity, gradually changed to other textures", zaś w drugiej: "Low backscatter intensity speckled pattern". Oczywiście, dane otrzymywane z akustycznego badania i obrazowania dna mogą wykazywać dużą zmienność w obrębie jednego rodzaju dna i Autor generalnie wspomina o tym w rozprawie, jednak, skoro główną tezą pracy ma być stwierdzenie, że metody hydroakustyczne nadają się do wiarygodnego klasyfikowania i mapowania habitatów dennych, wyżej wspomniana rzecz nie powinna być pozostawiona w pracy bez szczegółowego komentarza.

Kolejno, chciałbym przedstawić pytania i uwagi dotyczące zaproponowanych przez Autora metod przetwarzania zebranych danych hydroakustycznych. Chciałbym zapytać Autora rozprawy dlaczego w procedurze segmentacji użyto jedynie takich cech jak backscattering strength oraz smoothness i compactness, a nie użyto żadnych, wykorzystywanych na innym etapie przetwarzania, parametrów opartych na batymetrii oraz, ewentualnie, analogicznych do pewnego stopnia parametrów opisujących lokalne cechy statystyczne backscattering strength, np. dla bieżącego okna 3 na 3 bądź 5 na 5 pikseli. Interesujące byłoby sprawdzenie jaki wpływ na wyniki procedury segmentacji oraz całości przetwarzania miałoby zastosowanie wspomnianego wyżej podejścia. Ponadto, mam pytanie dlaczego zastosowano regułę, że wszystkie używane w klasyfikacji cechy obliczane na bazie danych batymetrycznych są „pixel-based", a wszystkie cechy obliczane na bazie danych nt. siły rozpraszania wstecznego (z wyjątkiem samej siły rozpraszania wstecznego) są „object-based". Można by np. obliczać cechy oparte na batymetrii jako pojedynczą, np. uśrednioną wartość dla całości obszaru objętego przez jeden „obiekt". Z drugiej strony, cechy opierające się na macierzy GLCM

można by obliczać jako „pixel-based", dla danych w obrębie bieżącego, przesuwającego się po całym obszarze „obiektu" okna o rozmiarze np. 5 na 5 pikseli. Ponadto, brakuje mi w pracy precyzyjnej definicji parametru „skala" odnoszącego się do algorytmu segmentacji. Jest to bardzo ważny parametr, mający istotny wpływ, jak to Autor szczegółowo zaprezentował w wynikach pracy, na dokładność działania procedury klasyfikacji. Jest zrozumiałe, że parametr ten podawany jest jako dana wejściowa wpływająca na działanie algorytmu realizowanego przez komercyjne oprogramowanie, które do pewnego stopnia wykorzystywane tu jest jako „czarna skrzynka", więc szczegóły dotyczące sposobu interpretowania wartości „skali" przez algorytm nie są znane. Można było jednak na przykład, w celach ilustracyjnych, zamieścić porównanie wyników segmentacji wykonanej dla dokładnie tego samego przypadku danych, przy różnych jedynie wartościach parametru „skala".

Wiąże się z tą kwestią moja kolejna uwaga. Jak napisałem, zgadzam się w pełni z Autorem co do tego, że cele pracy zostały osiągnięte, jednak muszę się przyznać, że największe wątpliwości miałem co do stwierdzenia, że zaproponowane metody pozwalają na wiarygodną detekcję zmian w rozmieszczeniu poszczególnych rodzajów habitatów w badanym akwenie. Autor w pracy ilustruje to odwołując się do danych, wraz z wynikami ich przetwarzania, z cieśniny Chioggia z 2013 oraz 2016 r. Autor przeprowadza porównanie rozkładów przestrzennych habitatów uzyskanych z obu pomiarów i gdy ocenia uzyskaną dokładność detekcji zmian, stwierdza, odnosząc się do jednej pozycji literaturowej, że dokładność tę można oszacować jako iloczyn dokładności uzyskanej klasyfikacji habitatów dla danych z 2013 r. przez dokładność klasyfikacji dla danych 2016 r. (i otrzymuje dokładność detekcji zmian 63%). Moim zdaniem takie stwierdzenie wymaga przynajmniej szerszego komentarza rozważającego jakie czynniki mogą na tę dokładność w takiej sytuacji wpływać. Należy zauważyć, że mapy rozkładów habitatów skonstruowane zostały w ten sposób, że dany numer klasy został przyporządkowany obszarowi całego „obiektu" wyodrębnionego wcześniej poprzez segmentację, natomiast szacowanie dokładności klasyfikacji odbywało się w zasadzie tylko w odniesieniu do punktów, dla których dostępne były dane „*ground truthing*". Segmentacja zaś została wykonana w obu przypadkach dla istotnie różnych wartości skali (odpowiednio, równej 4 dla danych z 2013 r. i równej 23 dla 2016 r.), rozkłady przestrzenne klas mogły więc istotnie różnić się od siebie z powodu innego „poziomu rozdrobnienia" na segmenty. Toteż, moim zdaniem, należało podejść z większą rezerwą do wyników klasyfikacji dla obszarów poza lokalizacjami danych „*ground truthing*", a tym samym, do oszacowania osiągniętej dokładności detekcji zmian.

Przechodząc do innego rodzaju uwag, chciałbym jeszcze raz powtórzyć, że praca jest obszerna i w częściach dotyczących zarówno kontekstu badań jak i użytych metod zawiera opisy zagadnień z wielu różnych dziedzin, co jest bardzo cenne i trudno tu raczej było rozważać poszerzenie jeszcze tekstowej zawartości rozprawy. Jednakże, w odniesieniu do niektórych miejsc w pracy należało zastanowić się, czy nie podnieść jakości i precyzji opisu danego zagadnienia, aby zmniejszyć wrażenie, że niektóre z zagadnień Autor przeanalizował dogłębnie i szczegółowo, a do innych podszedł w sumie, np. do sposobu działania określonych metod, jak do „czarnych skrzynek". W szczególności:

1. W opisie działania sonaru wielowiązkowego przydałby się dokładniejszy, poparty przytoczeniem odpowiednich wyrażeń i zależności matematycznych, opis przetwarzania sygnałów, zarówno po stronie nadawczej jak i odbiorczej, w celu syntezy wiązek.
2. W komentarzu do definicji parametru GLCM entropy przydałoby się wspomnieć, że entropia jest miarą nieuporządkowania i pokazać, jak sposób obliczania tego parametru powoduje, że im bardziej nieprzewidywalne jest wystąpienie w analizowanym fragmencie określonych par kolorów sąsiadujących pikseli, tym entropia ma większą wartość.
3. Tak jak definicje parametrów opartych na GLCM są przedstawione w sposób przejrzysty i precyzyjny, z podaniem przykładów obliczeniowych dla całych konkretnych postaci analizowanego fragmentu obrazu i macierzy GLCM, tak parametry oparte na danych batymetrycznych mogłyby być opisane dokładniej, nie tylko w sposób słowny, ale także z podaniem wzorów matematycznych i zaprezentowaniem w niektórych przypadkach poglądowych rysunków.
4. W podrozdziale 6.2.2. pożądane byłoby zamieszczenie wykresów przedstawiających przebiegi czasowe sygnałów sondujących cw (*continuous wave*) oraz z liniowo modulowaną częstotliwością (typu chirp).
5. Na stronie 91 Autor rozprawy pisze, że wyniki sondowania echosondą wielowiązkową zapisywane są w datagramach w postaci liczb zespolonych (*complex numbers*), powołując się przy tym na dokumentację techniczną echosondy firmy Kongsberg. Prawdopodobnie chodzi tu o zapis tzw. obwiedni zespolonej rejestrowanego echa akustycznego przy użyciu wąskopasmowego sygnału sondującego. Moim zdaniem należałoby tutaj albo nie wspominać o liczbach zespolonych jako formie zapisu danych, albo ewentualnie przedstawić rzecz szerzej i wyjaśnić, dlaczego, przy sondowaniu takim sygnałem – rzeczywistym, sygnał echa zajmujący to samo wąskie pasmo, aby być poprawnie reprezentowany, może być próbkowany

z częstotliwością próbkowania jego obwiedni taką jak obwiednia sygnału nadawanego, ale próbki te muszą dla sygnału echa być zespolone.
6. Opis wielkości użytych w detekcji zmian (str. 139) powinien być bardziej precyzyjny i zawierać odpowiednie wzory matematyczne.

Z innych uwag, w opisie metody klasyfikacji SVN jest błąd we wzorze 6.17 na str. 129 i nieprawidłowy opis do niego. Pomiędzy x_i i x_j powinien być przecinek, a i i j nie oznaczają tu pierwszej i drugiej współrzędnej w 2-wymiarowej przestrzeni cech, tylko numery dwóch wybranych obiektów (i-tego i j-tego) w ogólnie wielowymiarowej przestrzeni cech.

Ponadto, w rozdziale 7 przydałoby się, żeby macierze błędów klasyfikacji zawierały informacje nt. ile obiektów danej klasy zostało sklasyfikowanych jako określona klasa nie tylko w postaci bezwzględnych liczb – ilości obiektów, ale także w postaci wartości wyrażonych w procentach. Ułatwiłoby to zapoznawanie się czytelnika z wynikami.

Na zakończenie chciałbym stwierdzić, że praca zawiera dość dużo błędów charakterze redakcyjnym i składu. Przykładowo:
- ostatni wiersz na str. 28 – jest: European Comssion, powinno być: European Commission,
- brak jednostek wysokości na rysunku 3-5 na str. 45,
- na str. 59 w objaśnieniu do wzoru 4.14 zamiast odwołania do wzorów 4.5 i 4.7 powinny być odwołania do wzorów 4.11 i 4.13,
- w polskiej wersji podpisu pod rysunkiem 6-13 – jest: segemntacji, powinno być: segmentacji,
- wzory: 6.9 na str. 117 (GLCM contrast) i 6.10 na str. 118 (GLCM dissimilarity) są identyczne,
- str. 130, wiersz 9-ty do dołu – jest: od the input space, powinno być: of the input space,
- str. 210, wiersz 10-ty do góry – jest: using on object-based, powinno być: using an object-based
i wiele innych...
Należy w sumie stwierdzić, że ilość błędów redakcyjnych i składu jest w niniejszej pracy w zasadzie na poziomie zbliżonym do występującego w wielu pracach doktorskich z którymi dane było mi mieć styczność. Jednak, biorąc pod uwagę ogólnie bardzo wysoki poziom niniejszej rozprawy, taka ilość tego rodzaju błędów tym bardziej nieco razi.

4. Podsumowanie

Podsumowując, chciałbym stwierdzić, że pomimo przedstawionych wyżej uwag krytycznych, które, jak wspomniałem, mają charakter generalnie drugorzędny i nie wpływają na ogólną bardzo pozytywną moją opinię o ocenianej rozprawie, moim zdaniem rozprawa doktorska Łukasza Janowskiego pt. „Mapowanie habitatów dennych Laguny Weneckiej na podstawie badań echosondą wielowiązkową" całkowicie spełnia, z dużym zapasem, wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z aktualnie obowiązującą ustawą i stawiam wniosek o dopuszczenie tej rozprawy do kolejnych etapów przewodu doktorskiego, w tym do publicznej obrony. Ponadto, biorąc pod uwagę bardzo wysoki poziom merytoryczny rozprawy, jej obszerny zakres, także eksperymentalny oraz jej interdyscyplinarność i dużą ilość zawartych osiągnięć oryginalnych, jak również uwzględniając imponujący dorobek naukowy Autora (m. in. 5 artykułów w czasopismach z listy JCR, gdzie w przypadku dwóch z nich jest on pierwszym autorem) stawiam także wniosek o wyróżnienie niniejszej rozprawy.