

dr inż. Zbigniew Łubniewski

Katedra Systemów Geoinformatycznych
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska

Autoreferat

1. Wykształcenie i posiadane stopnie naukowe

2001 – **Doktor nauk technicznych z wyróżnieniem** w dyscyplinie: Telekomunikacja, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Politechnika Gdańska, tytuł rozprawy: Zastosowanie analizy fraktalnej i filtracji odwrotnej do zdalnej klasyfikacji i monitoringu dna morskiego, promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Stepnowski

1996-2001 – Studia doktoranckie, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Politechnika Gdańska

1993 – **Magister inżynier**, ukończone studia na kierunku: Informatyka, specjalność: Budowa i oprogramowanie maszyn cyfrowych, Wydział Elektroniki, Politechnika Gdańska

1987-1992 – Studia magisterskie, Wydział Elektroniki, Politechnika Gdańska, kierunek: Informatyka

2. Zatrudnienie

od 2000 r. – Katedra Systemów Geoinformatycznych (do 2003 r. Katedra Systemów Telemonitoringu), Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Politechnika Gdańska, adiunkt naukowo-dydaktyczny (do 2001 r. – asystent)

1994-1996 – Instytut Oceanologii PAN, Sopot, specjalista, udział w pracach badawczych w tematyce: Monitoring akustyczny ekosystemów morskich, w tym udział w morskich ekspedycjach i rejsach badawczych

3. Wskazanie osiągnięcia naukowego, o którym mowa w art. 16 ust. 2 ustawy z dn. 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym

A) Tytuł osiągnięcia naukowego:

Jednotematyczny zestaw 17 recenzowanych publikacji, w tym 5 artykułów w czasopismach znajdujących się w bazie ISI Journal Citation Report i 1 rozdziału w monografii, zatytułowany:
Opracowanie i praktyczna weryfikacja nowatorskiej metodologii klasyfikacji i obrazowania dna morskiego opartej na akustycznej obserwacji pionowej i szerokokątnej zintegrowanej z przetwarzaniem innych danych pomiarowych

B) Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:

1. Publikacje w czasopismach znajdujących się w bazie ISI Journal Citation Report (5 publikacji)

1. K. Bikonis, M. Moszyński, Z. Łubniewski, *Application of Shape From Shading technique for side scan sonar images*, Polish Maritime Research, 3(79), vol. 20, 39-44, 2013 (wkład: 40%, pkt. MNiSW: 20, IF 2012: 0,324).
2. M. Moszyński, A. Chybicki, M. Kulawiak, Z. Łubniewski, *A novel method for archiving multibeam sonar data with emphasis on efficient record size reduction and storage*, Polish Maritime Research, 1(77), vol. 20, 77-86, 2013 (wkład: 25%, pkt. MNiSW: 20, IF 2012: 0,324).

3. Z. Łubniewski, *Comparison of backscattered sea bottom echo modelling in the acoustic pressure domain and in the intensity domain*, Acta Acustica united with Acustica, 88(5), 627-629, 2002 (wkład: 100%, pkt. MNiSW: 20, IF 2002: 0,346).
4. J. Tęgowski, Z. Łubniewski, *Seabed characterisation using spectral moments of the echo signal*, Acta Acustica united with Acustica, 88(5), 623-626, 2002 (wkład: 10%, pkt. MNiSW: 20, IF 2002: 0,346).
5. J. Tęgowski, Z. Łubniewski, *The use of fractal properties of echo signals for acoustical classification of bottom sediments*, Acta Acustica united with Acustica, 86(2), 276-282, 2000 (wkład: 50%, pkt. MNiSW: 20, IF 2000: 0,415).

2. Rozdziały w monografiach i publikacje w czasopismach recenzowanych innych niż znajdujące się w bazie ISI Journal Citation Report (8 publikacji)

2.1. Rozdziały w monografiach

6. Z. Łubniewski, A. Stepnowski, M. Moszyński, *Multibeam Sonar Characterisation of Seafloor in the Context of Visualisation and Dissemination of Marine Data*, rozdział w monografii: E. Kozaczka, G. Grelowska (ed.), Hydroacoustics of shallow water, Biblioteka Akustyki i Ultradźwięków, IPPT PAN, 119-138, Warszawa 2013 (wkład: 75%).

2.2. Publikacje w czasopismach recenzowanych innych niż znajdujące się w bazie ISI Journal Citation Report

7. Z. Łubniewski, A. Stepnowski, *Using Principal Component Analysis and Canonical Discriminant Analysis for multibeam seafloor characterisation data*, Hydroacoustics, 15, 123-130, 2012 (wkład: 80%).
8. Z. Łubniewski, K. Bruniecki, *Seafloor Characterisation and Imaging Using Multibeam Sonar Data*, Acoustical Imaging, 437-445, 2011 (wkład: 80%).
9. Z. Łubniewski, A. Stepnowski, A. Chybicki, *Seafloor characterisation using multibeam sonar echo signal processing and image analysis*, Hydroacoustics, 13, 171-176, 2010 (wkład: 75%).
10. K. Bikonis, Z. Łubniewski, *3^D seafloor reconstruction using data from side scan and synthetic aperture sonar*, Hydroacoustics, 13, 25-30, 2010 (wkład: 45%).
11. Z. Łubniewski, K. Bikonis, A. Chybicki, A. Stepnowski, *Application of angular dependence of sonar echo features in seafloor characterisation and imaging*, Revista de Acustica, 38(3-4), 2007 (Special Issue: Official Publication of the 19th International Congress on Acoustics ICA 2007, Madrid) (wkład: 50%).
12. Z. Łubniewski, *Sensitivity of echo envelope fractal dimension to bottom type and bottom depth – numerical results*, Hydroacoustics, 5/6, Gdynia, 195-198, 2002/2003 (wkład: 100%).
13. J. Tęgowski, Z. Łubniewski, *Application of some echo parameters to the seabed classification - methodological analysis*, Hydroacoustics, 4, Gdynia, 237-240, 2001 (wkład: 50%).

4. Publikacje w wydawnictwach zbiorowych recenzowanych (4 publikacje)

14. A. Stepnowski, Z. Łubniewski, *Combined method of multibeam sonar signal processing and image analysis for seafloor classification*, Proceedings of the 2011 International Symposium on Ocean Electronics SYMPOL 2011, Kochi, 2011, 63-69 (wkład: 60%).
15. Z. Łubniewski, A. Stepnowski, A. Chybicki, *Seafloor characterisation combined approach using multibeam sonar echo signal processing and image analysis (invited paper)*, Proceedings of 10th European Conference on Underwater Acoustics ECUA 2010, Istanbul, 2010, 131-137 (wkład: 75%).
16. Z. Łubniewski, A. Chybicki, *Using angular dependence of multibeam echo features in seabed classification*, Proceedings of 9th European Conference on Underwater Acoustics ECUA 2008, Paris, 2008, 717-722 (wkład: 80%).
17. K. Bikonis M. Moszyński, Z. Łubniewski, A. Stepnowski, *Three-dimensional imaging of submerged objects by side-scan sonar data processing*, 1st International Conference on Underwater Acoustic Measurement: Technologies and Results, Heraklion, 2005 (wkład: 30%).

C) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Problematyka zdalnego monitoringu oraz mapowania struktury i rodzaju dna morskiego, a także znajdujących się na dnie obiektów, stanowi jedno z najbardziej aktualnych zagadnień z zakresu zarządzania, ochrony oraz różnorodnych badań środowiska wodnego. Dane o typie i strukturze dna morza oraz osadów dennych są użyteczne w wielu zastosowaniach, szczególnie w hydrografii i pracach oceanotechnicznych. Wzbogacone informacjami o biologii dna morskiego, są także istotne w zagadnieniach administrowania i ochrony ekosystemów wodnych.

Mający miejsce już od kilku dekad rozwój zastosowań hydroakustycznych metod badania, klasyfikacji i obrazowania dna morskiego wiąże się ze znanymi zaletami tych metod w porównaniu np. z bezpośrednim pobieraniem próbek dna za pomocą odwiertów. Do zalet metod akustycznych badania dna morza zaliczyć dużą szybkość akwizycji danych, łatwość automatyzacji procedury zbierania danych, prostą możliwość dalszego ich przetwarzania, analizy i wizualizacji, również w czasie rzeczywistym, a także nieinwazyjność i niższe koszty.

Pomimo wielu lat rozwoju metodologii badań dna morskiego za pomocą akustyki podwodnej, opracowane techniki wciąż nie są wystarczająco dojrzałe oraz nadające się do wykorzystania w szeregu odmiennych (np. ze względu na typ akwenu, rodzaj użytego sprzętu) sytuacji. W związku z tym metody te, zarówno oparte na wykorzystaniu obserwacji pionowej, w szczególności echosond jednowiązkowych, a także obserwacji szerokokątnej, w tym sonarów bocznych oraz bardziej zaawansowanych technologicznie sonarów wielowiązkowych, w dalszym ciągu są obiektem intensywnych badań.

Również bardzo istotnym zagadnieniem jest obrazowanie dna morskiego, a także znajdujących się na dnie obiektów (np. wraków statków) w sposób zapewniający odpowiednią jakość informacji docierającej do badacza. W wielu zastosowaniach użyteczne jest odtwarzanie trójwymiarowego kształtu obrazowanych obiektów, w tym również na podstawie danych akustycznych nie posiadających charakteru trójwymiarowego, np. na podstawie obrazów z sonaru bocznego.

Zbigniew Łubniewski swój pierwszy istotny wkład w przedmiotową dziedzinę wniósł na etapie cyklu przeprowadzonych badań sfinalizowanych przygotowaniem i obroną rozprawy doktorskiej pod kierunkiem prof. Andrzeja Stepnowskiego. Tematem jej było zastosowanie analizy fraktalnej, w szczególności, podejścia opartego na wyznaczaniu wymiaru fraktalnego obwiedni echa od dna, a także transformacji sygnału obwiedni echa zgodnie z zaproponowanym schematem filtracji odwrotnej, w rozpoznawaniu i klasyfikacji dna morskiego wykorzystującym konwencjonalne echosondy jednowiązkowe. W rozprawie, autor przedstawił i udokumentował użyteczność zaproponowanych metod w oparciu zarówno o symulacje numeryczne jak i pomiary i przetwarzanie danych doświadczalnych.

Tematyka podjęta w pracy doktorskiej była następnie przez Z. Łubniewskiego kontynuowana w ramach dalszej działalności naukowej. W dalszym ciągu prowadził on, w zakresie zarówno modelowania teoretycznego jak i badań doświadczalnych, prace nad wykorzystaniem sygnałów z echosond jednowiązkowych do rozpoznawania i klasyfikacji dna morskiego. Następnie prace te zostały rozszerzone na tematykę dotyczącą metod badania oraz obrazowania dna morskiego opartych na danych z sonarów wielowiązkowych. Prowadzone prace zaowocowały stworzeniem nowatorskiej, zweryfikowanej praktycznie metodologii klasyfikacji i obrazowania dna morskiego opartej na akustycznej obserwacji pionowej i szerokokątnej. Jednym z istotnych założeń tej metodologii było, jak opisano to bardziej szczegółowo dalej, zintegrowane jednoczesne przetwarzanie różnorodnych rodzajów danych dostarczanych przez system wielowiązkowy: zbioru ech od dna, obrazu powierzchni dna oraz zbioru dyskretnych punktów stanowiącego model powierzchni dna.

Z. Łubniewski podjął także, wiążące się z wyżej wymienionymi, prace dotyczące odtwarzania trójwymiarowego kształtu i obrazowania powierzchni dna morskiego oraz obiektów podwodnych na podstawie ech i obrazów z sonarów bocznych. Ponadto, współkierując niewielkim zespołem młodych badaczy, Z. Łubniewski prowadził także prace dotyczące optymalizacji metod kompresji i archiwizacji danych o dnie morskim pozyskiwanych za pomocą sonaru wielowiązkowego. Zagadnienie to, z uwagi na bardzo duże rozmiary danych rejestrowanych za pomocą sonaru wielowiązkowego, szczególnie, gdy zapisywane są w całości sygnały obwiedni ech dla poszczególnych wiązek a nie tylko dane dotyczące batymetrii dna, jest także bardzo istotne w procesie pozyskiwania informacji o dnie i toni wodnej tym sposobem.

Uzyskane przez autora wyniki ww. prac, przedstawione we wskazanym cyklu publikacji, stały się, jako osiągnięcie naukowe, przedmiotem niniejszego wniosku habilitacyjnego.

W przedstawionym jednotematycznym cyklu publikacji naukowych można wyróżnić następujące główne zagadnienia:

1. Wykorzystanie cech echa akustycznego do rozpoznawania i klasyfikacji dna morskiego w sondowaniu echosondą jednowiązkową.
2. Wykorzystanie danych akustycznych do rozpoznawania i klasyfikacji dna morskiego w sondowaniu sonarem wielowiązkowym.
3. Modelowanie numeryczne rozpraszania sygnału akustycznego na dnie morskim dla celów zastosowań w akustycznej klasyfikacji dna.
4. Zastosowanie sygnałów z akustycznej obserwacji szerokokątnej do rekonstrukcji kształtu powierzchni dna i obiektów podwodnych w trzech wymiarach, z użyciem technik opartych na Shape from Shading (SFS).
5. Zastosowanie dedykowanych metod kompresji danych w celu optymalizacji reprezentacji, przesyłania i archiwizacji dużych zbiorów danych z sondowań sonarem wielowiązkowym.

Poniżej omówiono wyniki prac habilitanta w zakresie poszczególnych wyżej wymienionych zagadnień.

1. Wykorzystanie cech echa akustycznego do rozpoznawania i klasyfikacji dna morskiego w sondowaniu echosondą jednowiązkową

Badania niniejsze stanowiły kontynuację prac rozpoczętych na etapie przygotowania rozprawy doktorskiej, opartych na ogólnym założeniu, że informacja pozwalająca na odróżnienie danego typu dna od innych zawarta jest w odpowiednio dobranych i obliczonych parametrach obwiedni echa akustycznego (po uprzednim, właściwym wstępnym przetworzeniu sygnału tego echa). Znaczna ilość prac w tym zakresie prowadzona była przez habilitanta we współpracy z dr. Jarosławem Tęgowskim. W pracy [5] przedstawiono koncepcję oraz pozytywną weryfikację doświadczalną na danych zebranych w akwenie Zatoki Gdańskiej metody klasyfikacji dna opartej na obliczaniu siły rozpraszania wstecznego, czasu trwania echa od dna oraz wymiaru fraktalnego obwiedni echa dla niskiej częstotliwości pracy echosondy (30 kHz). Dowodzi to użyteczności zastosowanego przez autorów, nowatorskiego podejścia. Należy zaznaczyć, iż pomimo że praca [5] została opublikowana przed obroną pracy doktorskiej przez Z. Łubniewskiego, wyniki w niej przedstawione nie są w znacznej większości zawarte w materiale przedstawionym w rozprawie doktorskiej. Spośród treści zawartych w publikacji [5], w rozprawie doktorskiej zamieszczono jedynie opis sposobu obliczania wymiaru fraktalnego na podstawie funkcji autokorelacji przebiegu obwiedni echa oraz wyniki klasyfikacji opartej na samym wymiarze fraktalnym, bez użycia innych parametrów echa. Pozostałe treści, w szczególności opis metodologii klasyfikacji wieloparametrowej danych z użyciem sieci neuronowej i otrzymanych wyników, a także dyskusja dotycząca zmienności wartości wymiaru fraktalnego obwiedni echa dla osadów na badanym akwenie, nie były zawarte w pracy doktorskiej.

W pracy [4] przedstawiono metodę badania dna morskiego opartą na obliczaniu momentów spektralnych obwiedni echa, w szczególności tzw. szerokości spektralnej obwiedni echa, a także na wymiarze fraktalnym obliczanym za podstawie wartości współczynników ciągłej transformacji falkowej obwiedni echa. Pozytywnej weryfikacji przedstawionych metod dokonano na podstawie dużych zbiorów zapisów ech zebranych na terenie wielu akwenów w obszarze Południowego Bałtyku.

W publikacji [13] zawarta jest analiza metodologiczna dotycząca doboru odpowiednich parametrów obwiedni echa do wykorzystania w klasyfikacji dna. Dla wybranych rodzajów dna, występujących w obrębie Południowego Bałtyku, takich jak piasek średnioziarnisty, piasek drobnoziarnisty, glina i ił na mule, cienka warstwa drobnoziarnistego piasku na mule, przeanalizowano i porównano wartości takich parametrów jak siła rozpraszania wstecznego, czas trwania echa, promień autokorelacji, wymiar fraktalny, moment bezwładności, asymetria kształtu. Opisano najważniejsze powiązania wybranych parametrów z rodzajem dna i określono reguły jakimi powinien kierować się system automatycznej klasyfikacji oparty na takich parametrach echa.

2. Wykorzystanie danych akustycznych do rozpoznawania i klasyfikacji dna morskiego w sondowaniu sonarem wielowiązkowym

W 2006 r. habilitant podjął w swoich pracach tematykę rozpoznawania i klasyfikacji dna morskiego z wykorzystaniem sonarów wielowiązkowych. Inspiracją do tego był fakt, że pomiar dna morskiego sonarem wielowiązkowym, opierając się w zasadzie na tym samym zjawisku interakcji fali akustycznej z dnem co w przypadku echosondy jednowiązkowej, dostarcza znacznie większych ilości danych w postaci zbioru ech od dna dla poszczególnych wąskich wiązek o różnym kącie padania w ramach jednego sondowania, w miejsce pojedynczego echa w obserwacji pionowej. Możliwe jest zatem zastosowanie metod przetwarzania sygnałów poszczególnych ech w sposób analogiczny do przetwarzania pojedynczego echa znanego z metodologii sondowania dna echosondą jednowiązkową, co prowadzi do otrzymania większej ilości danych opisujących badane dno i powinno, w założeniu, prowadzić do polepszenia jakości klasyfikacji.

Należy zaznaczyć, że od dłuższego czasu znane jest i szeroko wykorzystywane zastosowanie sonarów wielowiązkowych do pomiarów batymetrii dna morskiego, a także obrazowania powierzchni dna, obiektów podwodnych itp. Niewiele natomiast znanych jest prac dotyczących wykorzystania ech z sonaru wielowiązkowego w klasyfikacji rodzaju dna morskiego. Opublikowane prace, np. [19], opierają się przede wszystkim na badaniu charakterystycznych, lokalnych cech obrazu dna powstającego na podstawie pomiaru siły rozpraszania wstecznego dla poszczególnych wiązek w poszczególnych sondowaniach. Habilitant w swoim oryginalnym podejściu zaproponował natomiast, żeby informacją wykorzystywaną w badaniu dna były różnego rodzaju, wykorzystywane do tej pory w jednowiązkowej klasyfikacji dna, parametry obwiedni echa dla poszczególnych wiązek w sondowaniu sonarem wielowiązkowym, oraz zależność wartości tych parametrów od kąta transmisji wiązki – tzw. *beam pointing angle* (który jest zarazem kątem insonifikacji dna przy założeniu płaskiego, poziomego dna w dużej skali).

W znanych pracach wykorzystujących zależność cech echa od kąta wiązki, np. [20], [21], bierze się pod uwagę tę kątową zależność jedynie w zasadzie w odniesieniu do mierzonej siły rozpraszania wstecznego, a nie analizuje się w ten sposób innych, bardziej złożonych, np. geometrycznych, statystycznych itp. parametrów opisujących obwiednię sygnału echa.

Należy zaznaczyć, że podobna metodologia jak pracach habilitanta zastosowana została w badaniach przeprowadzonych przez J. Tęgowskiego, przedstawionych np. w [22]. Tam jednak autor stosuje podejście polegające na obliczeniu najpierw zależności siły rozpraszania wstecznego od kąta wiązki, a następnie, dla otrzymanej krzywej obliczane są różnego rodzaju parametry podobne do wspomnianych wyżej. Generalnie, prace J. Tęgowskiego oraz prace habilitanta może można zatem traktować do pewnego stopnia jako komplementarne.

Do weryfikacji zaproponowanych metod klasyfikacji dna sonarem wielowiązkowym habilitant wykorzystał głównie dane doświadczalne zebrane w obszarze Południowego Bałtyku, przede wszystkim, choć nie tylko, w rejonie Zatoki Gdańskiej (w przeważającej większości osobiście), w miejscach o znanym typie dna. Dane rejestrowane były za pomocą sonaru wielowiązkowego Kongsberg EM3002 przy częstotliwości pracy sonaru 300 kHz, szerokości wiązek $1,5^\circ \times 1,5^\circ$, czasie trwania impulsu sondującego 0,15 ms i częstotliwości próbkowania echa 14,3 kHz. Głębokość dna w badanych obszarach zawierała się w przedziale od 10 m do 100 m.

Pomiary danych odbywały się z wykorzystaniem statku badawczego r/v „Oceania” w ramach współpracy z Instytutem Oceanologii PAN w Sopotcie, a także z użyciem jachtu „Windspeel” dzięki uprzejmości prof. E. Kozaczki z Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni.

Wyróżniono kilka bazowych typów dna, takich jak muł głębinowy morski, muł rzeczny, muły i piaski antropogeniczne, piasek drobnoziarnisty, piasek gruboziarnisty z występującymi kamieniami, i dla nich przeprowadzono weryfikację zaproponowanych metod.

Wyniki badań zamieszczone m. in. w pracy [16] pokazują, że zaproponowane metody rzeczywiście pozwalają na klasyfikowanie dna na badanym akwencie i że jest to użyteczne podejście, jednak otrzymywana jakość klasyfikacji była niższa od przewidywanej. Ponadto, możliwe było wskazanie, że niektóre parametry, jak moment bezwładności obwiedni echa czy jej wymiar fraktalny, są, w odróżnieniu od innych parametrów, jak np. energia echa, mniej wrażliwe na lokalne, nie związane z typem dna warunki eksperymentu, jak m. in. głębokość dna czy nastawy sonaru, i w związku z tym lepiej nadają się do wykorzystania w klasyfikacji dna.

W dalszych pracach habilitant przyjął założenie, że dla uzyskania i wykorzystania większej ilości informacji z sonaru wielowiązkowego użytecznej w klasyfikacji dna, powinno się stosować, jednocześnie i komplementarnie, zarówno zastosowane wcześniej parametry obwiedni ech i ich kątową zależność, jak i stosowane przez niektórych innych autorów lokalne parametry uzyskiwanego z sonaru obrazu przedstawiające rozkład mierzonej siły rozpraszania wstecznego w poszczególnych miejscach badanego dna, a także, parametry opisujące geostatystyczne cechy powierzchni dna reprezentowanej w

postaci nieregularnego zbioru dyskretnych punktów w przestrzeni trójwymiarowej (oprogramowanie współpracujące z wieloma sonarami wielowiązkowymi dostarcza wyników w postaci takiego modelu dna na bieżąco podczas sondowania).

W pracach [9] i [15] zaprezentowano wyniki weryfikacji wspomnianego wyżej podejścia z zastosowaniem pierwszego (obwiednie ech) i drugiego (obraz dna) z wymienionych wyżej rodzajów danych otrzymywanych z sonaru wielowiązkowego. Natomiast w pracach [6], [8] i [14] przedstawiono wyniki łącznego zastosowania parametrów obliczanych dla wszystkich trzech ww. rodzajów danych, tj. ech, obrazów dna oraz zbioru dyskretnych punktów w 3D jako modelu powierzchni dna. Wyżej wspomniane wyniki potwierdzają przewidywaną wcześniej prawidłowość, że wraz ze wzrostem ilości rodzajów użytych danych (echa, obrazy, zbiory dyskretnych punktów) poprawia się jakość klasyfikacji.

Dodatkowo, w pracach [8] i [14] zostało pokazane, że jakość klasyfikacji poprawia się, jeśli dla wybranych parametrów, zamiast używania wprost ich wartości jako cech klasyfikowanych obiektów (typów dna dla kolejnych sondowań), oblicza się ich średnie bądź odchylenia standardowe dla niewielkich, kolejnych grup danych, np. dla grup kolejnych 10 sondowań dla poszczególnych typów dna.

Następnie, w toku dalszych prac habilitant zbadał, wykorzystując posiadane dane z wielowiązkowego sondowania dna morskiego, jeszcze jeden ważny aspekt procesu automatycznej klasyfikacji, mianowicie, problem redukcji rozmiaru przestrzeni cech stanowiących dane wejściowe dla klasyfikatora oraz problem zastosowania odpowiedniej metody do tego celu. Do redukcji rozmiaru przestrzeni cech wykorzystał zarówno standardową metodę analizy głównych składowych (*principal component analysis* – PCA), jak i kanoniczną analizę dyskryminacyjną (*canonical discriminant analysis* – CDA) uwzględniającą podział zbioru uczącego na klasy i wykorzystującą tę informację przy transformacji danych do nowej przestrzeni cech o niższym wymiarze.

W pracach [6], [7] i [14] habilitant pokazał, że generalnie w większości badanych przypadków zastosowanie PCA jest jak najbardziej odpowiednie i nie pogarsza wyników klasyfikacji pomimo redukcji ilości wykorzystywanych cech, natomiast w niektórych sytuacjach, jak można się spodziewać, użyteczne jest zastosowanie CDA dającej generalnie zawsze lepszą separowalność klas i wyniki klasyfikacji niż w przypadku zastosowania PCA.

3. Modelowanie numeryczne rozpraszania sygnału akustycznego na dnie morskim dla celów zastosowań w akustycznej klasyfikacji dna

Jak już wspomniano, habilitant kontynuował także rozpoczęte w ramach przygotowywania rozprawy doktorskiej prace w zakresie teoretycznego modelowania numerycznego zjawisk związanych z sondowaniem dna sygnałem akustycznym. Przy czym, w związku ze wzrostem dostępnych mocy obliczeniowych, zajęto się bardziej złożonym numerycznie modelowaniem zjawiska interakcji sygnału akustycznego z dnem morskim (pochodzącego z echosondy jednowiązkowej) w dziedzinie ciśnienia akustycznego, z generowaniem zbioru pseudolosowych, konkretnych realizacji powierzchni dna (wcześniej wykorzystywano metodę opierającą się na statystycznych cechach natężenia echa akustycznego od dna i uwzględniającą jedynie w dużej skali geometrię eksperymentu, tj. między innymi rzeźbę dna – opierając się na pracy [23]).

W szczególności, w pracy [3] dokonano porównania wyników modelowania w dziedzinie ciśnienia akustycznego i natężenia sygnału akustycznego. Pokazano, że obie metody dają w rezultacie wyniki zgodne w takim zakresie, w jakim można je porównać. Zauważono jednak, że modelowanie w dziedzinie ciśnienia akustycznego pozwala na przewidywanie cech pojedynczych ech w kolejnych sondowaniach, podczas gdy modelowanie w dziedzinie natężenia fali akustycznej zakłada jego użycie jedynie w przypadku założenia stosowania odpowiednio przeprowadzanych statystycznych uśrednień grup analizowanych ech od dna.

Poza tym, postawiono sobie za cel zbadanie w wyniku modelowania numerycznego w jaki sposób rodzaj dna morskiego, a także inne warunki eksperymentu, a szczególnie głębokość dna morskiego, wpływają na różnego rodzaju parametry obwiedni echa używane w klasyfikacji dna.

Wyniki symulacji numerycznych przedstawione w pracy [12] pokazują, że wymiar fraktalny może być, do pewnego stopnia, dobrym deskryptorem rodzaju dna nawet w warunkach zmieniającej się głębokości dna i przy braku prawidłowego skompensowania tego efektu poprzez odpowiednie przetwarzanie rejestrowanych ech.

W toku dalszych prac zaproponowano niestandardową procedurę kompensacji wpływu głębokości przy przetwarzaniu ech pochodzących z pionowego akustycznego sondowania dna i pokazano konieczność stosowania tej metody. Zbadano także użyteczność wybranych parametrów obwiedni echa w klasyfikacji

dna na podstawie wyników przeprowadzonych symulacji, a także wskazano ograniczenia możliwości stosowania tych parametrów w przedmiotowym celu. Otrzymane wyniki przedstawione zostały w [24]; praca ta wyszczególniona została w ramach informacji na temat innych osiągnięć naukowych zawartej w załączniku 5 i 6 – część II K, poz. 9 (publikacji tej nie włączono do jednotematycznego zestawu publikacji stanowiącego osiągnięcie naukowe, z powodu trudności w uzyskaniu od współautora oświadczenia na temat jego udziału w jej przygotowaniu).

Częściowo, powyższe prace realizowane były w ramach stażu zagranicznego, jaki habilitant odbył w Ośrodku Badań Podwodnych NATO (NATO Undersea Research Centre) w La Spezia we Włoszech, we współpracy z międzynarodowym zespołem badaczy specjalizującym się w zakresie akustycznego sondowania dna morskiego, kierowanym przez dr. Erica Pouliquena, z którym habilitant ma wspólne publikacje.

W zrealizowanym modelowaniu numerycznym wykorzystano m. in., odpowiednio zaadaptowany, model BORIS (BOttom Response from Inhomogeneities and Surface) opracowany przez ww. zespół badawczy, opisany szczegółowo np. w [25] i [26].

Zrealizowano także, w podstawowym zakresie, prace dotyczące modelowania rozpraszania sygnału akustycznego pochodzącego z echosondy wielowiązkowej na powierzchni dna. Otrzymane wyniki zawarto w raporcie z realizacji projektu badawczego habilitacyjnego wymienionego w wykazie opublikowanych prac.

4. Zastosowanie sygnałów z akustycznej obserwacji szerokokątnej do rekonstrukcji kształtu powierzchni dna i obiektów podwodnych w trzech wymiarach, z użyciem technik opartych na Shape from Shading

Z zagadnieniem rozpoznawania i klasyfikacji dna morskiego ściśle wiąże się zagadnienie obrazowania powierzchni dna, a także obiektów znajdujących się na dnie, a w tym rekonstruowanie trójwymiarowego kształtu powierzchni. Oprócz badań opisanych dotąd, habilitant zrealizował również prace z zakresu wykorzystania akustycznej obserwacji szerokokątnej (tj. z wykorzystaniem sonarów wielowiązkowych i sonarów bocznych) dna morskiego oraz obiektów podwodnych do odtwarzania trójwymiarowego kształtu i obrazowania badanych obiektów. Szczególnie zasługuje na uwagę problem rekonstrukcji kształtu 3D monitorowanych obiektów na podstawie zapisów ech dokonanych sonarem bocznym.

Jednym z podejść możliwych do zastosowania w tym zagadnieniu, zaadaptowanym w pracach habilitanta, realizowanych wraz dr. K. Bikonisem i prof. M. Moszyńskim, do przetwarzania danych hydroakustycznych pochodzących z sonaru bocznego, jest technika Shape from Shading (SFS) wiążąca się z zagadnieniami wizualizacji komputerowej. Odtwarzanie trójwymiarowego kształtu odbywa się w niej na podstawie danego obrazu 2D oświetlonego obiektu przy znanym położeniu źródła światła i z założeniem znajomości własności odbijających i rozpraszających obiektu. W omawianym przypadku rolę oświetlenia odgrywa insonifikacja sygnałem akustycznym pochodzącym z sonaru bocznego. W pierwszej fazie badań przyjęto założenie, że akustyczne własności rozpraszające badanych obiektów wystarczająco dobrze opisuje prawo Lamberta. Zaproponowano schemat sekwencyjnego przetwarzania danych (zakładający w danym momencie dostęp jedynie do bieżącego i do poprzedniego echa zarejestrowanego przez sonar), a więc nadający się do łatwej implementacji do działania w czasie rzeczywistym. W pracach [10], [11], i [17] zaprezentowano zadowalające wyniki (w pracy [10] – wyniki otrzymane również dla danych z sonaru z aperturą syntetyzowaną), z których wynikała jednak potrzeba ulepszenia opracowanych metod, a w szczególności, zrewidowania założenia o odpowiedności stosowania prawa Lamberta jako przybliżenia zależności siły rozpraszania wstecznego na badanych obiektach od kąta insonifikacji.

W pracy [1] przedstawiono modyfikację zaproponowanej metody, zakładającej estymację własności rozpraszających badanego dna morskiego i innych obiektów wprost z danych pomiarowych, z wykorzystaniem do tego celu płaskiego fragmentu powierzchni dna. Przedstawione wyniki potwierdzają, że uzyskano w ten sposób poprawę działania metody.

5. Zastosowanie dedykowanych metod kompresji danych w celu optymalizacji reprezentacji, przesyłania i archiwizacji dużych zbiorów danych z sondowań sonarem wielowiązkowym

Jak już wspomniano, w ramach współdziałania w kierowaniu niewielkim zespołem badawczym, habilitant prowadził także prace dotyczące optymalizacji metod kompresji i archiwizacji danych o dnie morskim pozyskiwanych za pomocą sonaru wielowiązkowego. Ze względu na bardzo duże rozmiary danych

rejestrowanych przy tego rodzaju pomiarach, szczególnie, gdy zapisywane są w całości sygnały obwiedni ech dla poszczególnych wiązek a nie tylko dane dotyczące batymetrii dna, jest to bardzo istotny problem, powiązany ściśle z głównym zagadnieniem sondowania dna sonarem wielowiązkowym.

Uzyskane wyniki zostały przedstawione np. w pracy [2]. Zaproponowano podejście oparte na kodowaniu Huffmana, zakładające istnienie dużych podobieństw charakterystyk statystycznych dla określonych grup bloków danych, co pozwoliło na przeprowadzanie analizy tylko jednego bloku danych reprezentatywnego dla danej grupy w celu zbudowania drzewa Huffmana, i wykorzystanie tego samego drzewa także przy kompresji kolejnych bloków z grupy. Zastosowane podejście umożliwiło zwiększenie szybkości kompresji strumienia danych wyjściowych generowanych przez sonar podczas sondowań.

Ponadto, do kompresji wybranych rodzajów danych z sonaru wielowiązkowego zastosowano także zaproponowane, dedykowane metody oparte na analizie głównych składowych i transformacjach falkowych, uzyskując lepszy stopień kompresji niż w przypadku standardowych, uniwersalnych metod.

Uzyskane wyniki niniejszych prac pozwalają na istotną redukcję rozmiaru informacji pochodzących z systemów wielowiązkowych, w porównaniu z przypadkiem stosowania standardowych narzędzi do kompresji danych. Ponadto, ze względu na zwiększenie szybkości realizacji kompresji, zaproponowane metody umożliwiają także m. in. podgląd wyników sondowania, z użyciem np. zdalnie sterowanych lub autonomicznych bezzałogowych pojazdów podwodnych, w czasie rzeczywistym nawet przy wykorzystaniu łącz o niskiej przepustowości, także bezprzewodowych.

Co więcej, opracowane metody archiwizacji umożliwiają podgląd zawartości pliku z danymi pomiarowymi bez konieczności dekompresji całego zbioru danych.

4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

W okresie od uzyskania stopnia naukowego doktora (2001 r.) do chwili obecnej habilitant brał również udział w licznych innych pracach o charakterze badawczym bądź badawczo-rozwojowym. Wiele z nich realizowanych było i finansowanych w ramach międzynarodowych i krajowych projektów badawczych, jak zostało to wyszczególnione w „Informacji o osiągnięciach” – załącznik 4.

Poniżej zamieszczono krótki opis ważniejszych pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych habilitanta.

System informacji przestrzennej do oceny, ochrony i mapowania infrastruktury krytycznych

Celem projektu (finansowanego przez Unię Europejską – program EPCIP) było opracowanie i implementacja sieciowego Systemu Informacji Przestrzennej do analizy i wizualizacji infrastruktury krytycznych (IK) i ich zagrożeń. Habilitant był jednym z głównych wykonawców projektu. System ten umożliwia gromadzenie, integrację, przetwarzanie, wykonywanie różnorodnych analiz oraz wizualizację danych przestrzennych, w szczególności dotyczących infrastruktury krytycznych miasta z różnych sektorów. System jest dla autoryzowanego użytkownika dostępny zdalnie, za pośrednictwem sieci Web z poziomu zwykłej przeglądarki internetowej. Narzędziem do przetwarzania danych na temat IK w systemie jest moduł analiz oparty na technologii CARVER2™. Zakłada ona porównywanie odmiennych typów infrastruktury przy zastosowaniu tych samych, wielorakich kryteriów oceny IK, jak ważność obiektu, dostępność dla ataku, odtwarzalność, wrażliwość na poszczególne rodzaje ataków. Wprowadzone do systemu dane przetwarzane są przez szereg procedur analiz przestrzennych w odniesieniu do różnych rodzajów zagrożeń, jak np. określanie strefy zagrożenia dla ataku bombowego czy chemicznego, czy granic obszaru zalanego w wyniku wycieku lub powodzi. System oferuje także inne narzędzia przetwarzania i analiz danych przestrzennych, jak np. narzędzia do interpolacji przestrzennej danych punktowych za pomocą metody odwrotnej odległości bądź funkcji sklepanych.

Wyniki uzyskane w ramach tego projektu zostały zawarte w pracy autorstwa dr. M. Kulawiaka i habilitanta przyjętej do druku w czasopiśmie Technological Forecasting and Social Change znajdującym się w bazie ISI Journal Citation Report (patrz „Informacja o osiągnięciach naukowo-badawczych” – załącznik 4 i 5, część II A poz. 1).

Opracowanie systemu Web-GIS do przewidywania i monitorowania zagrożeń w terenie miejskim - SafeCityGIS

Projekt ten, finansowany przez ESA, którego habilitant był kierownikiem technicznym, był w zasadzie kontynuacją projektu wspomnianego wyżej, zakładającą rozbudowę systemu informacji przestrzennej o możliwość wykorzystania satelitarnych sensorów obserwacji Ziemi. Powstały system umożliwia

integrację różnego rodzaju danych przestrzennych i wyników ich przetwarzania, w tym w szczególności danych z satelitarnych systemów obserwacji Ziemi, w celu wspierania działań służb cywilnych w zakresie detekcji, lokalizacji i monitoringu zagrożeń różnego rodzaju, przewidywania wystąpień sytuacji kryzysowych oraz obszarów ich rozprzestrzeniania się oraz działań podejmowanych w reakcji na wystąpienie sytuacji kryzysowych. Istotnym elementem systemu są też sensory mobilne, a także możliwość dostępu do systemu za pośrednictwem klienckich urządzeń mobilnych.

Wyniki uzyskane w ramach tego projektu zostały zawarte w pracy współautorstwa habilitanta zgłoszonej do czasopisma *Marine Geodesy* znajdującego się w bazie ISI Journal Citation Report (patrz „Informacja o osiągnięciach naukowo-badawczych” – załącznik 4 i 5, część II A poz. 2).

Internetowy GIS do zdalnego monitorowania i obrazowania zanieczyszczeń oraz innych składników ekosystemów morskich

W ramach tego projektu badawczo-rozwojowego, finansowanego przez MNiSW, którego habilitant był głównym wykonawcą, opracowany został system GIS do zdalnego monitorowania w czasie rzeczywistym zanieczyszczeń środowiska morskiego. System pozwala na gromadzenie i integrowanie danych dotyczących zanieczyszczeń, pozyskiwanych za pomocą różnego rodzaju sensorów (echosondy jednowiązkowe, sonary boczne, sonary wielowiązkowe, radar oraz inne), jak również zdjęć satelitarnych i lotniczych. Zadaniem systemu jest wizualizacja, także trójwymiarowa, takich zjawisk jak rozprzestrzenianie się plam ropy naftowej, oraz wieloaspektowe przetwarzanie i analiza danych. System został zbudowany za pomocą takich narzędzi jak Open Source GeoServer, OpenLayers i TileCache. Wykorzystuje także technologię ESRI ArcSDE do przesyłania i przechowywania danych o charakterze wektorowym i rastrowym oraz komponent GlobeControl z platformy ArcGIS Engine do prezentacji obiektów na wielowarstwowych mapach trójwymiarowych.

System wspomagający poruszanie się osób niewidomych w terenie miejskim - „Mówiące Mapy”

W ramach tego projektu badawczo-rozwojowego finansowanego przez NCBiR zaimplementowano dedykowany system informacji przestrzennej wspierający samodzielne poruszanie się i nawigację po terenie miejskim osób niewidomych. Habilitant był jednym z głównych autorów koncepcji rozwiązań zastosowanych w systemie oraz wykonawcą.

W systemie zaadaptowano i wykorzystano bazy danych przestrzennych miejskiej sieci tras dostępnych dla osób pieszych, co umożliwi automatyczne znajdowanie optymalnej trasy z punktu początkowego do wybranego celu. Informacja na temat położenia i ruchu użytkownika uzyskiwana jest przy pomocy odbiornika DGPS. System wspiera niewidomego użytkownika poruszającego się wzdłuż znalezionej ścieżki, monitorując jego ruch i ostrzegając o niebezpieczeństwach, a także udzielając różnego rodzaju informacji o mijanych obiektach. Komunikacja z użytkownikiem realizowana jest poprzez odpowiednio oprogramowany, w sposób przystosowany dla osób niewidomych, ekran dotykowy oraz z użyciem komunikatów głosowych generowanych przez syntezytor mowy. Zaimplementowano również alternatywne interfejsy dla niewidomych użytkowników, np. rozpoznawanie mowy czy alfabet gestowy. W ramach prac nad projektem zrealizowano również testowy „portal społecznościowy” umożliwiający zdalne wprowadzanie, modyfikację itp. informacji przestrzennej o drogach pieszych.

Testy systemu przeprowadzone z udziałem osób niewidomych udowodniły dużą użyteczność stworzonego systemu oraz potrzebę jego wdrożenia do praktycznego wykorzystywania przez społeczność osób niewidomych, z uwagi na wiele zalet stworzonego rozwiązania w porównaniu z podobnymi systemami już istniejącymi na rynku. Jak wspomniano w „Wykazie prac”, system ten otrzymał wiele międzynarodowych i krajowych nagród i wyróżnień.

Literatura

19. Jon Preston, *Automated acoustic seabed classification of multibeam images of Stanton Banks*, Applied Acoustics, 70, 1277–1287, 2009.
20. AliReza Amiri-Simkooei, M. Snellen, D. G. Simons, *Riverbed sediment classification using multi-beam echo-sounder backscatter data*, J. Acoust. Soc. Am. 126 (4), 1724-1738, 2009.
21. K. Siemes, M. Snellen, D. G. Simons, J.-P. Hermand, *Using MBES backscatter strength measurements for assessing a shallow water soft sediment environment*, Proc. OCEANS IEEE, Bremen, 2009.
22. J. Tęgowski, *Akustyczna klasyfikacja osadów dennych*, wyd. Rozprawy i Monografie IO PAN, 2006.
23. E. Pouliquen, X. Lurton, *Identification de la nature des fonds marins à l'aide de signaux d'écho-sondeurs: I. Modélisation des échos réverbérés par le fond*, Acta Acustica, 2, 113-126, 1994.
24. Z. Łubniewski, E. Pouliquen, *Sensitivity of echo parameters to seafloor properties and depth variability*, Proceedings of the Seventh European Conference on Underwater Acoustics ECUA2004, Delft, 2004, 763-768.
25. E. Pouliquen, O. Bergem, H. G. Pace, *Time-evolution modeling of seafloor scatter. I. Concept*, J. Acoust. Soc. Am. 105, 3136-3141, 1999.
26. E. Pouliquen, O. Bergem, H. G. Pace, *Time-evolution modeling of seafloor scatter. II. Numerical and experimental evaluation*, J. Acoust. Soc. Am. 105, 3142-3150, 1999.

