

17th SYMPOSIUM ON HYDROACOUSTICS

Jurata May 23-26, 2000



MODELOWANIE ODPOWIEDZI IMPULSOWEJ DLA ROZPRASZANIA WSTECZNEGO DNA MORSKIEGO

MODELLING OF THE IMPULSE RESPONSE FOR BACKSCATTERING FROM SEAFLOOR

Z. Łubniewski, M. Moszyński, A. Stepnowski
Politechnika Gdańska, Katedra Systemów Telemonitoringu,
ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk, Poland.
e-mail: lubniew@eti.pg.gda.pl

The modelling of surface and volume backscattering of a single-beam echosounder signals on sea floor using impulse response approach is presented. Kirchhoff (tangent plane) approximation is used in surface scattering modelling for approximately flat sea bottom and small perturbation theory is applied to describe the volume backscattering. The influence of bottom physical features as well as the system parameters (operating frequency, beamwidth) on the shape of the sea bed impulse response and echo waveform is investigated. The results have revealed the differences for particular cases of bottom and acoustic system's parameters and they are important for validation of newly developed algorithms of echo signals processing for bottom classification.

1. WPROWADZENIE

W opracowywaniu metod akustycznej klasyfikacji typu dna morskiego, istotną procedurą jest modelowanie teoretyczne rozpraszania sygnału na dnie w celu przewidywania wpływu cech fizycznych dna oraz parametrów systemu akustycznego na postać rejestrowanego echa. W użytych modelach, autorzy zakładają dominację składowej niekoherentnej w echu, co oznacza, że natężenie echa od dna, proporcjonalne do kwadratu amplitudy obwiedni echa, jest sumą natężeń ech pochodzących od wszystkich elementarnych fragmentów insonifikowanej powierzchni lub objętości. Pozwala to na stosowanie teorii układów liniowych w dziedzinie natężenia echa. W pierwszej kolejności obliczana jest odpowiedź impulsowa dna, a następnie, za pomocą całki splotowej, obwiednia echa dla zakładanej obwiedni sygnału sondującego.

2. MODELE ROZPRASZANIA POWIERZCHNIOWEGO I OBJĘTOŚCIOWEGO NA DNE MORSKIM

W pracy zostały użyte modele opisane w [1]. Autorzy zakładają, że dno morskie jest w dużej skali płaskie oraz jednorodne. Geometria modelu pokazana została na Rys. 1. Jeżeli sygnał wysyłany jest przez echosondę pionowo w dół i rozprasza się wstecz jedynie na po-

wierzchni dna, wyprowadzone przez autorów wyrażenie na odpowiedź impulsową dna $k_s(t)$ (w dziedzinie natężenia lub kwadratu obwiedni echa) ma postać [2]:

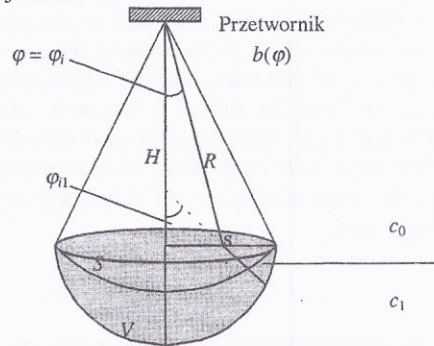
$$k_s(t) = \pi c_0 b^2 [\varphi(t)] R^{-4}(t) s_s[\varphi(t)], \quad (1)$$

gdzie c_0 oznacza prędkość dźwięku w wodzie, $b(\varphi)$ jest osiowo symetryczną charakterystyką nadawczo-odbiorczą przetwornika, $\varphi(t) = \arccos \frac{H}{R(t)}$ oznacza kąt wysyłania oraz padania na

powierzchnię dna sferycznie rozchodzącego się sygnału, $R(t) = H + \frac{c_0 t}{2}$ jest odległością aktualnie rozpraszającego fragmentu dna od przetwornika, H - głębokością dna, zaś $s_s(\varphi)$ oznacza współczynnik rozpraszania powierzchniowego dna zależny od jego fizycznych właściwości. Zależność s_s od kąta insonifikacji φ modelowana jest z użyciem aproksymacji Kirchhoffa jako:

$$s_s(\varphi) = \frac{\mathfrak{R}_r^2(\varphi) e^{-\tan\left(\frac{\varphi^2}{2\delta^2}\right)}}{8\pi\delta^2 \cos^4 \varphi}, \quad (2)$$

gdzie \mathfrak{R}_r oznacza geometryczny współczynnik odbicia na granicy woda-dno, zaś δ opisuje średnie nachylenie dna w małej skali.



Rys. 1. Geometria użytego modelu rozpraszania powierzchniowego i objętościowego na płaskim i jednorodnym (w dużej skali) dnie morskim

Fig. 1. The geometry of the used surface and volume backscattering model for flat and homogeneous (in a large scale) seabed

Przy wyprowadzaniu wyrażenia na objętościową składową odpowiedzi impulsowej dna $k_v(t)$ założono, że dno jest w dużej skali płaskie oraz jednorodne i charakteryzuje się prędkością dźwięku c_1 , stosunkiem m gęstości do gęstości wody, lokalnym współczynnikiem rozpraszania objętościowego m_0 (modelowanym za pomocą teorii małych zaburzeń i zależnym od rozkładu nierównomierności dna w małej skali [1]), geometrycznym współczynnikiem transmisji \mathfrak{R} , i współczynnikiem tłumienia β w czynniku $a(t) = e^{-\beta t}$ opisującym tłumienie sygnału. Odpowiedź impulsową $k_v(t)$ otrzymano poprzez różniczkowanie po czasie wyprowadzonej zależności na odpowiedź jednostkową dna $h_v(t)$. Niemożliwe było otrzymanie tak prostej formy wyrażenia dla $k_v(t)$ jak w przypadku $k_s(t)$. Otrzymane wyrażenie ma postać następującą:

$$k_v(t) = \pi H c_0 \cdot$$

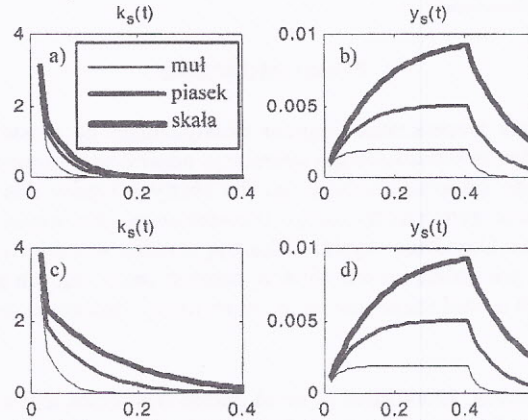
$$\frac{d}{dt} \left[\int_0^t R^{-4}(\tau) b^2(\tau) m_0 \frac{\Re_t^4}{m^2} \cos[\varphi_1(\tau)] \sum_{n=0}^2 \left[\left(\frac{c_1}{c_0} \right)^n R^{-n}(\tau) g_n(\tau) \frac{\Gamma(n+1, 0, \beta c_1(t-\tau))}{(2\beta)^{n+1}} \right] d\tau \right], \quad (3)$$

$$\text{gdzie } g_0(\tau) = \frac{\cos[\varphi_1(\tau)]}{\cos[\varphi(\tau)]}, \quad g_2(\tau) = \frac{1}{g_0}, \quad g_1 = g_0 + g_2, \quad \cos[\varphi_1(\tau)] = \sqrt{1 - \left[\frac{c_1}{c_0} \sin[\varphi(\tau)] \right]^2},$$

a Γ oznacza funkcję gamma Eulera. Zależności $R(\tau)$, $b(\tau)$ i $\varphi(\tau)$ są takie same jak w przypadku rozpraszania powierzchniowego.

3. WYNIKI

Obliczenia $k_s(t)$, $k_v(t)$, ich sum oraz echa $y(t)$ dla prostokątnego impulsu sondującego o czasie trwania $T = 0.4$ ms przeprowadzono dla różnych wartości fizycznych parametrów wziętych z [1], odpowiadających trzem konkretnym typom dna: muł, piasek i skała, jak również dla odmiennych parametrów systemu hydroakustycznego, jak częstotliwość czy szerokość charakterystyki kierunkowej przetwornika. Przykładowe wyniki modelowania dla składowej powierzchniowej odpowiedzi impulsowej dna $k_s(t)$ oraz obwiedni echa $y_s(t)$ przedstawione są na Rys. 2, zaś dla całkowitej (powierzchniowej + objętościowej) odpowiedzi impulsowej $k(t)$ i echa $y(t)$ - na Rys. 3.



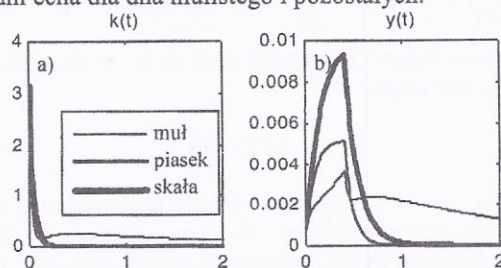
Rys. 2. Obliczone powierzchniowe odpowiedzi impulsowe $k_s(t)$ (a, c) i echa $y_s(t)$ dla prostokątnego impulsu sondującego (b, d) dla trzech typów dna: muł, piasek i skała, i dla dwóch różnych 3 decybelowych szerokości wiązki: 6° (a, b) i 11° (c, d). Skala osi x w milisekundach

Fig. 2. The calculated surface impulse response $k_s(t)$ (a, c) and echo $y_s(t)$ for rectangular sounding pulse (b, d) for three seabed types: mud, sand and rock, and for two different 3 dB beam widths: 6° (a, b) and 11° (c, d). x axis in milliseconds

Przebiegi $k_s(t)$ i $y_s(t)$ przedstawione na Rys. 2 obliczone zostały dla dwóch różnych 3 dB szerokości charakterystyki kierunkowej przetwornika (6° - a, b and 11° - c, d). Dla węższej wiązki (Rys. 2a, b), przebiegi $k_s(t)$ dla wszystkich typów dna są bardzo krótkie i prawie identyczne. Wiąże się to z założeniem płaskiego dna w dużej skali, na którym sygnał rozpraszany jest tylko w obrębie małego koła na jego powierzchni. Dla szerszej wiązki (Fig. 2c, d), widoczne są wyraźne różnice w rezultatach dla poszczególnych typów dna. Wynika z tego, że do po-

miarów zależności kątowej współczynnika rozpraszania powierzchniowego dna bardziej korzystne jest użycie echosondy o szerszej charakterystyce kierunkowej.

Rys. 3 przedstawia $k(t)$ i $y(t)$ dla częstotliwości 38 kHz. W przypadku dna piaszczystego i skalistego, dominuje składowa pochodząca od rozpraszania powierzchniowego, natomiast dla mułu odpowiedź impulsowa charakteryzuje się większymi wartościami w swojej fazie opadania, co jest skutkiem rozpraszania objętościowego. Widoczne są także różnice w uzyskanych kształtach obwiedni echa dla dna mulistego i pozostałych.



Rys. 3. Obliczone całkowite (powierzchniowe + objętościowe) odpowiedzi impulsowe $k(t)$ (a) i obwiednie ech $y(t)$ dla prostokątnego impulsu sondującego (b) dla trzech typów dna: muł, piasek i skała. Częstotliwość echosondy: 38 kHz, 3 dB szerokość wiązki: 11° . Skala osi x w milisekundach

Fig. 3. The calculated overall (surface + volume) impulse response $k(t)$ (a) and echo envelope $y(t)$ for rectangular sounding pulse (b) for three seabed types. Operating frequency of 38 kHz and 3 dB beam width of 11° . x axis in milliseconds

4. PODSUMOWANIE

W oparciu o modele rozpraszania sygnału akustycznego na płaskim i jednorodnym w dużej skali dnie morskim, przeprowadzono symulacje odpowiedzi impulsowych oraz obwiedni ech dla prostokątnego impulsu sondującego dla różnych typów dna (muł, piasek, skała) oraz parametrów systemu hydroakustycznego (częstotliwość, szerokość charakterystyki kierunkowej przetwornika). Uzyskane wyniki pokazują różnice w odpowiedzi dna w poszczególnych przypadkach i pozwalają na weryfikację założeń stanowiących podstawę nowo opracowanych akustycznych metod rozpoznawania i klasyfikacji dna morskiego.

LITERATURA

- [1] 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(1), 113-126 (1994).
- [2] Z. Łubniewski, M. Moszyński, A. Stepnowski, Application of Inverse Filtering Techniques in the Sea Bottom Recognition, Proceedings of the 2nd EAA International Symposium on Hydroacoustics, Gdańsk-Jurata, 95-100 (1999).