

17th SYMPOSIUM ON HYDROACOUSTICS

Jurata May 23-26, 2000



KOMPRESJA IMPULSU ULTRADŹWIĘKOWEJ PACZKI FALOWEJ PRZEZ ZASTOSOWANIE CYFROWEJ KORELACJI I PROCEDURY LOKALIZACJI SYGNAŁU ECHA

M. Szustakowski - Instytut Optoelektroniki

L. Jodłowski - Instytut Fizyki Technicznej

K. Fokow - Instytut Podstaw Elektroniki

Wojskowa Akademia Techniczna 00-908 Warszawa ul. Kaliskiego 2, Polska

A method of ultrasonic echo is one of widely used method for medical ultrasonography or sonars. The paper describes localisation of objects using ultrasonic pulse wave of 200 μ s duration and frequency chirp of 1 to 2MHz. Compression of pulse and echo time determination were calculated by means of digital correlation procedure.

WPROWADZENIE

Metoda echa ultradźwiękowego jest jedną z szerzej stosowanych metod nie destrukcyjnego badania materiałów, diagnostyki medycznej czy penetrowania przestrzeni wodnej.

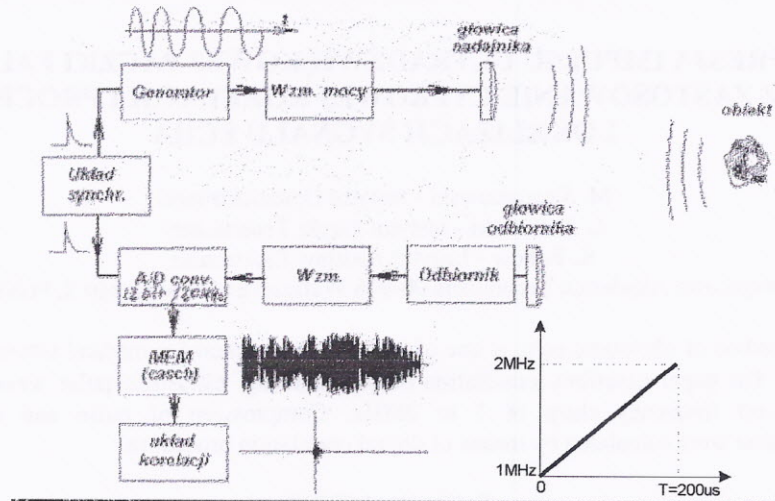
W ultrasonografii medycznej czy hydrolokacji stosuje się wyspecjalizowane metody przetwarzania sygnału dźwiękowego. Ale jak we wszystkich urządzeniach pomiarowych istnieją fundamentalne ograniczenia, które wyznaczają jakość użytkową urządzeń. W przypadku ultrasonografii medycznej są to ograniczenia mocy impulsu sondującego (do 10mW), rozdzielczość (pół długości fali) czy stosunek sygnału do szumu. Metody dążące do obniżania powyższych ograniczeń wnoszą zapowiedź poprawy parametrów użytkowych urządzeń.

W niniejszej pracy przedstawiamy badania sondowania przestrzeni wodnej ultradźwiękową paczką falową z liniową modulacją częstotliwości LFM (chirp impuls) oraz cyfrową kompresję echa z procedurą lokalizującą impuls kompresji.

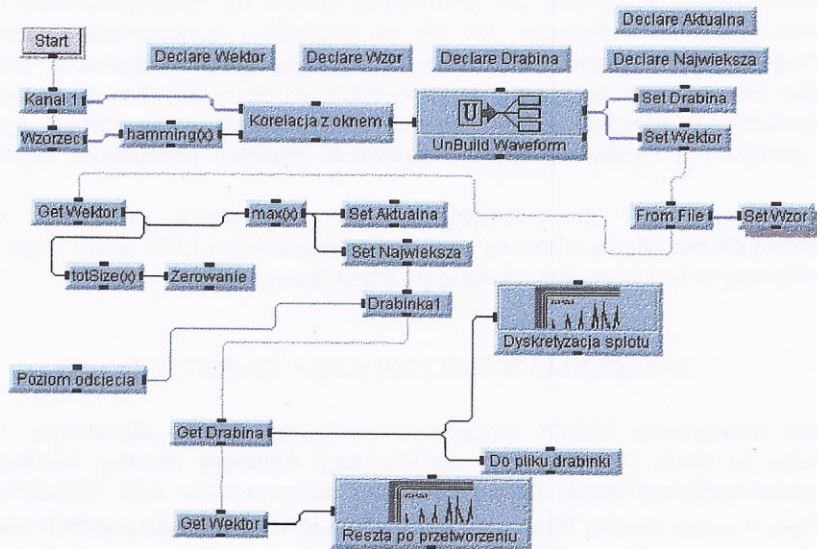
1. ZAŁOŻENIA I WYNIKI OBLICZEŃ TEORETYCZNYCH

Schemat funkcjonalny układu sondowania przestrzeni wiązką akustyczną z LFM przedstawiono na rys.1. Układ ogólnej synchronizacji wytwarza impulsy uruchamiające generator ultradźwiękowej paczki falowej oraz blok przetworników A/D. Ultradźwiękowa paczka falowa o czasie trwania 200 μ s, modulowana liniowo w zakresie częstotliwości od 1 do 2MHz penetrując ośrodek wodny odbija się od obiektów o innej impedancji akustycznej, powraca do głowicy odbiorczej w postaci echa. Sygnał elektryczny po wzmacnieniu

przekształcany jest do postaci cyfrowej przez 12 bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy z częstotliwością próbkowania 20MHz i przenoszony jest do pamięci stałej. Po zakończeniu odbioru paczki falowej (czas ten zależy od zasięgu) wykonywany jest cyfrowy splot danych echa z toru odbiorczego z modyfikowaną paczką falową nadajnika jako funkcją referencyjną. W wyniku tej operacji w przestrzeni czasu powstają impulsy lokalizujące położenie echa impulsów od powierzchni odbijającej.



Rys.1. Schemat funkcjonalny układu do sondowania przestrzeni wiązką akustyczną z LFM



Rys.2. Algorytm procedury lokalizacji sygnału echa

Nadawany sygnał z modulacją LFM opisany jest funkcją:

$$U=U_0\sin 2\Pi(f_0+(\Delta f/T_i)t) \quad (1)$$

gdzie: f_0 : częstotliwość startowa generacji,
 Δf : zakres przestrojenia częstotliwości,
 T_i : czas trwania impulsu.

Wówczas sygnał docierający do głowicy odbiorczej jest sumą sygnałów s_n odbitych od granic obiektów:

$$S=\sum g_n(f) \cdot s_n(t) \quad (2)$$

gdzie $g(f)$ jest nieznaną funkcją charakteryzującą sprawność przetwarzania głowic ultradźwiękowych i własności odbijających obiektu.

Po spróbkowaniu sygnał z głowicy odbiorczej zostaje zapisany w jednowymiarowej tablicy S:

$$S=(s_1, s_2, \dots, s_n) \quad (3)$$

a sygnał referencyjny w tablicy R:

$$R=(r_1, r_2, \dots, r_m) \quad (4)$$

gdzie s_n i r_m są wielkościami próbek.

Splot sygnałów S i R wyznaczony jest jako jednowymiarowa tablica A:

$$A=(a_1, a_2, \dots, a_{n \cdot m}) \quad (5)$$

w której element a_k wyznaczony jest jako:

$$a_k = \sum_{i=1}^{i=m} s_{i+k} r_i \quad (6)$$

2. SYMULACJA KOMPUTEROWA FUNKCJI SPLOTU I PROCEDURY LOKALIZUJĄCEJ IMPULS KOMPRESJI

Algorytm cyfrowej operacji splotu i procedury lokalizującej impuls kompresji przedstawiono na rys.2.

W programie symulacyjnym przyjęto rzeczywistą funkcję referencyjną generowaną przez przetwornik układu doświadczalnego. Założono dwa punkty odbijające sygnał echa ze współczynnikami odbicia 50% i 100% leżące w odległości 0,05m i 0,1m od powierzchni przetwornika.

Po korelacji funkcji referencyjnej i odbitych sygnałów echa otrzymano dwa impulsy zlokalizowane na skali czasu w miejscach założonych odbić (rys.3a). Po rozciągnięciu skali czasu impuls korelacyjny ma postać jak na rys.3b a jego szerokość czasowa Δt w połowie wysokości wynosi 1,5 μ s. Zgodnie z teorią spodziewana wielkość kompresji wynosi:

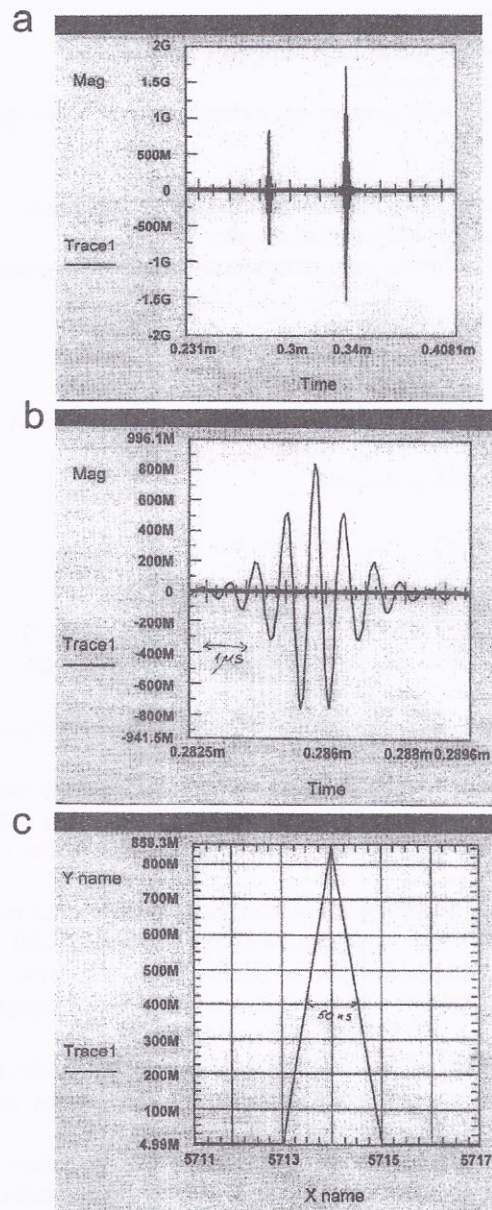
$$T/\Delta t = T \Delta f = 200\mu s \cdot 1\text{MHz} = 200 \quad (7)$$

stąd teoretyczna wartość $\Delta t = 1\mu$ s, co odpowiada 1,5mm rozdzielczości przestrzennej.

Większa od przewidywanej szerokość impulsu spowodowana jest interferencjami ech odbitych od pierwszego i drugiego obiektu.

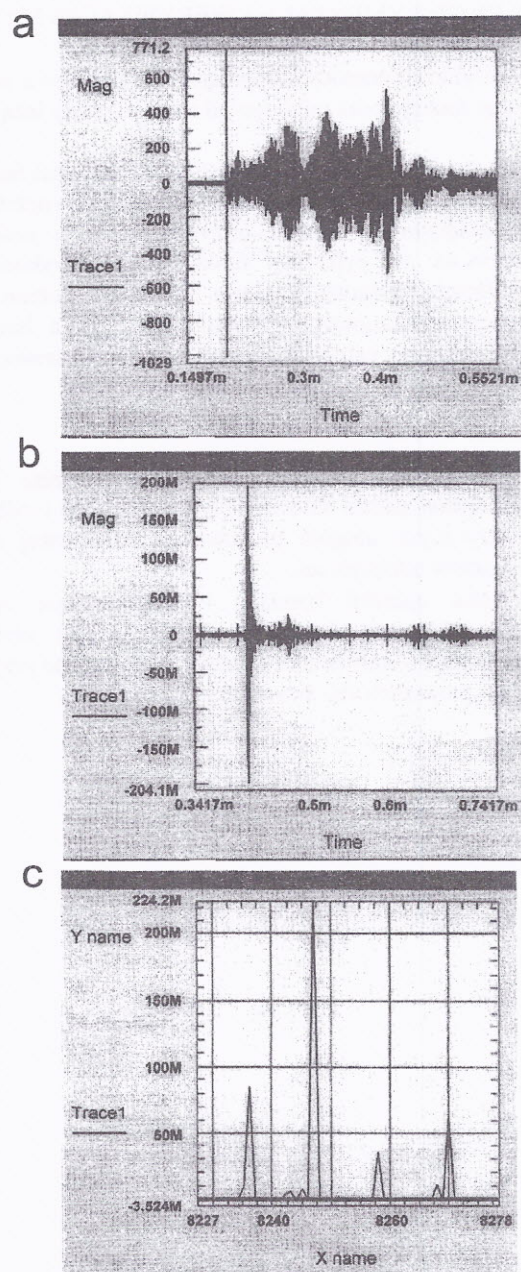
Dalszemu procesowi przetwarzania poddajemy funkcję splotu z rys.3b, którą po przetworzeniu w procedurze lokalizującej można sprowadzić do postaci jak na rys.3c. Impuls pozbawiony listków bocznych posiada szerokość czasową 50ns co daje rozdzielczość liniową w wodzie 75 μ m, zaś efektywna kompresja 200 μ s impulsu wynosi 4000 razy, co oznacza że procedura lokalizująca daje poprawę efektywnej kompresji o 20 razy. Jeżeli przyjmiemy że efektywna rozdzielczość przy sondowaniu mono-impulsem wynosi połowę długości fali to

rozdzielczość czasowa 50ns odpowiada częstotliwości 10MHz. Ale zasięg penetrowania środowiska wodnego na częstotliwości 10MHz jest 100 razy mniejszy niż na 1MHz.



Rys.3. Impulsy korelacyjne otrzymane w wyniku przetwarzania sygnału symulacyjnego:

- dwa impulsy korelacyjne od dwóch obiektów,
- impuls korelacyjny – powiększenie,
- impuls korelacyjny po zastosowaniu procedury lokalizacji



Rys.4. Wartości sygnału na poszczególnych etapach przetwarzania (obiekt rzeczywisty)

- przebieg czasowy sygnału echa w odbiorniku,
- sygnał po wykonaniu operacji splotu,
- impulsy korelacyjne po zastosowaniu procedury lokalizującej (powiększenie)

3. EKSPERYMENTALNA WERYFIKACJA METODY

Eksperymentalną weryfikację metody kompresji chirp-impulsu z procedurą lokalizującą przeprowadzono analizując funkcje echa odbitego od stalowej płyty leżącej na dnie akwarium na głębokości 18cm.

Schemat układu badawczego jak na rys.1. Przetwornik nadawał falę akustyczną w kącie bryłowym około 30° . Fala odbita od powierzchni płyty docierała do przetwornika odbiorczego z różnym opóźnieniem czasowym. W efekcie otrzymano echo w postaci złożonej funkcji interferencyjnej jak na rys.4a. Po cyfryzacji funkcji echa i wykonaniu operacji splotu otrzymano funkcję korelacyjną złożoną z wielu impulsów korelacyjnych (rys.4b). Po przeprowadzeniu procedury lokalizującej otrzymano nadal kilka impulsów z wyraźnym wyróżnieniem impulsu z maksimum natężenia i rozdzielczością czasową około 50ns (rys.4c).

4. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono możliwość sondowania przestrzeni wodnej za pomocą częstotliwościowo modulowanej paczki falowej. Przy nadawaniu i odbiorze z oddzielnych przetworników piezoelektrycznych długość czasowa paczki falowej nie jest ograniczona głębokością położenia obiektów odbijających.

Cyfrowe wykonywanie operacji korelacji i przetwarzania sygnału pozwala na równoległe wykonywanie procedury lokalizującej poprawiając efekt kompresji. Przy zastosowaniu szybkich procesorów cały proces przetwarzania można przyjąć jako quasiciągły w porównaniu z szybkością propagacji fali akustycznej.