



**ROZKŁADY PÓL ULTRADŹWIĘKOWYCH DLA POBUDZEŃ KODOWANYCH**  
**– WYNIKI EKSPERYMENTALNE**

**Pressure field distribution for coded transmission – experimental results**

**Z. Klimonda, M. Lewandowski, I. Trots, A. Nowicki**

Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk  
e-mail pierwszego autora: [zklim@ippt.gov.pl](mailto:zklim@ippt.gov.pl)

**STRESZCZENIE**

Ultrasonografia kodowana jest intensywnie badana w ostatnich latach. Powodem są własności kodowanej transmisji: zwiększenie głębokości wnikania, poprawa stosunku sygnału do szumu (SNR) i wzrost rozdzielczości podłużnej. W niniejszej pracy pokazane są rozkłady pola ciśnienia zarejestrowane dla pobudzeń kodowanych oraz rozkłady po kompresji. Zbadano pięć rodzajów pobudzeń: modulacja chirp o szerokości pasma 1 MHz, sekwencje sinusoidalne fazowo modulowane 13-bitowym kodem Barkera i 16-bitową komplementarną parą kodów Golaya oraz pobudzenia sinusoidalne o ilości okresów dwa i szesnaście jako odniesienie. Pomiary wykonane były przy użyciu skomputeryzowanego układu pomiarowego skonstruowanego w IPPT PAN. Wyniki pokazują wyraźny wzrost SNR dla rozkładów zdekodowanych oraz różnice w przestrzennej strukturze rozkładów pól między pobudzeniami kodowanymi, a pobudzeniami referencyjnymi.

**1. WSTĘP**

Transmisja kodowana w technice ultradźwiękowej jest dynamicznie rozwijaną i badaną metodą, znajdującą zastosowania w szerokim zakresie aplikacji - od ultrasonografii, przez techniki dopplerowskie, po badania nieniszczące [5, 6].

W IPPT PAN prowadzone są badania zastosowań transmisji kodowanej do obrazowania w klasycznej ultrasonografii (3.5-10MHz), obrazowania w mikroultrasonografii (30MHz) oraz obrazowania parametrycznego kości w zakresie 0.5-2MHz. W związku z tymi pracami zostały zbadane rozkłady przestrzenne pól przetworników ultradźwiękowych dla pobudzeń stosowanych w transmisji kodowanej oraz obliczone rozkłady pola po kompresji.

**2. TRANSMISJA KODOWANA**

W odróżnieniu od klasycznie stosowanych krótkich impulsów nadawczych w transmisji kodowanej stosowane są stosunkowo długie impulsy o specjalnie zaprojektowanym kształcie [1, 2, 3, 7]. Odebrane echa są poddawane filtracji dopasowanej (korelacji z impulsem nadawczym), która powoduje kompresję czasową i pozwala

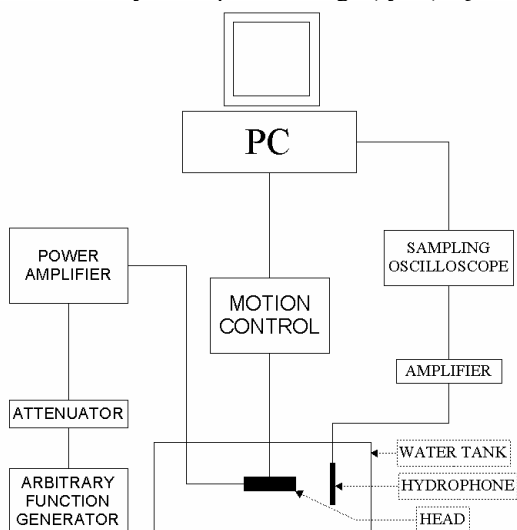
na przywrócenie dobrej rozdzielczości podłużnej. Zysk stosunku sygnału do szumu kompresji jest równy iloczynowi czasu trwania i pasma nadawanego impulsu [4].

W ultradźwiękowej transmisji kodowanej zastosowanie znalazły sygnały z liniową modulacją częstotliwości (chirp) oraz z modulacją fazy kodami algebraicznymi Barker'a i komplementarnymi kodami Golay'a.

### 3. OPIS SYSTEMU POMIAROWEGO

Pomiary rozkładu pól ultradźwiękowych zostały zmierzone przy pomocy skomputeryzowanego systemu pomiarowego „Wanna” zbudowanego w IPPT PAN. System umożliwia skanowanie pola ultradźwiękowego w trzech osiach z rastrem od 0.1mm. Skanowanie pola odbywa się przez przemieszczanie badanej głowicy i pomiar ciśnienia za pomocą nieruchomego hydrofonu.

Elementami systemu pomiarowego (rys.1) są:



- pozycjoner (ISEL) z uchwytem do badanej głowicy ultradźwiękowej,
- generator (LeCroy 9109) służący do generowania impulsów nadawczych,
- wzmacniacz nadawczy mocy (ENI 3100LA),
- szerokopasmowy hydrofon membranowy PVDF (Sonora Medical S4-153),
- przedwzmacniacz odbiorczy (RITEC BR-640),
- oscyloskop cyfrowy (HP 54503A) do akwizycji przebiegów z hydrofonu,
- komputer PC sterujący pracą skanera oraz oscyloskopu realizującego akwizycję.

Rys. 1. Schemat układu pomiarowego

Oprogramowanie sterujące systemem realizuje następujące funkcje:

- skanowanie zadanego obszaru (linii, płaszczyzny lub objętości) z określonym rastrem i prędkością w każdej osi niezależnie,
- zapisywanie danych z oscyloskopu,
- możliwość zapamiętywania kształtu odebranego impulsu dla każdego punktu pomiarowego,
- prezentowanie wykresów zebranego rozkładu pola.

#### 4. OPIS EKSPERYMENTU

W pomiarach używana była płaska głowica o średnicy przetwornika 1,5 cm i częstotliwości rezonansowej 2 MHz.

Głowica pobudzana była jednym z czterech typów sygnałów nadawczych:

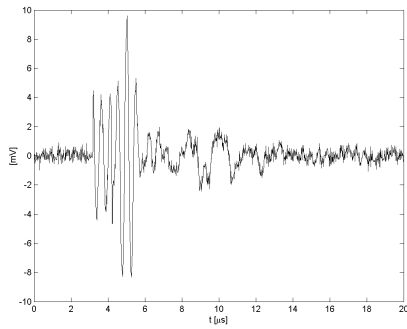
- sygnały sinusoidalne o częstotliwości 2 MHz i długości 2 i 16 okresów,
- sygnał chirp o częstotliwości środkowej 2 MHz i szerokości pasma 1 MHz,
- 13-bitowy kod Barkera o częstotliwości nośnej 2 MHz i sygnaturze  $C13=\{1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1\}$ ,
- 16-bitowe komplementarne pary kodów Golaya o częstotliwości nośnej 2 MHz i sygnaturach  
 $A16=\{1, 1, 1, -1, 1, 1, -1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, 1, -1\}$ ,  
 $B16=\{1, 1, 1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, 1, 1, 1, -1, 1\}$ .

Pomiary polegały na skanowaniu pola ultradźwiękowego na prostokącie 6 na 10 cm leżącym w płaszczyźnie biegnącej wzdłuż wiązki z krokiem 0.5 mm. W każdym punkcie mierzono przebieg ciśnienia, a następnie wyznaczano wartość szczytową w danym przebiegu. W przypadku pobudzania głowicy sygnałami kodowanymi wyznaczano również maksymalną wartość ciśnienia na podstawie przebiegu skompresowanego. W rezultacie otrzymane są rozkłady pól przed i po kompresji dla kodów oraz rozkłady pól dla pobudzeń sinusoidalnych służące jako odniesienie.

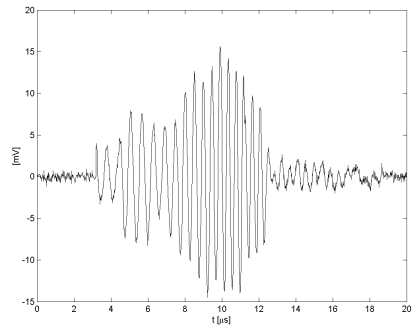
#### 5. REZULTATY

Wyniki pomiarów przedstawione są w formie rysunków. Można na nich zaobserwować następujące zjawiska:

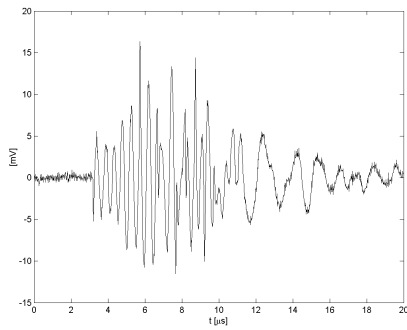
1. Skończone pasmo głowicy (około 50%) powoduje, że kształt impulsu na głowicy ulega znacznym zniekształceniom. Dotyczy to zwłaszcza sygnałów kodowanych, w których następują szybkie zmiany fazy. Zaobserwować można również wydłużenie przebiegów spowodowanych efektem „dzwonienia”.
2. Przedstawione rozkłady pól pokazują poprawę dynamiki dla rozkładów kompresowanych w stosunku do niekompresowanych. Wiązki po dekodowaniu mają dynamikę większą o ok. 12 dB dla kodu Barkera, 16 dB dla modulacji chirp i 12 dB dla kodów Golaya.
3. Widać wpływ szerokości pasma impulsu na rozbieżność wiązki – wiązki kodowane kodami Barkera i Golaya, są mniej rozbieżne wraz z odległością niż wiązka kodowana modulacją chirp.
4. W rozkładzie kompresowanym kodu Golaya widać zafalowanie wzdłuż wiązki, którego nie ma w rozkładzie niekompresowanym. Jest to wynik interferencji między rozkładami obu kodów stanowiących parę – skanowanie rozkładu ciśnienia dla każdego elementu pary było robione osobno, więc warunki mogły się nieco różnić. Różnice te spowodowały, że pary „nie pasowały” do siebie idealnie co objawiło się zmodulowanym rozkładem ciśnienia.



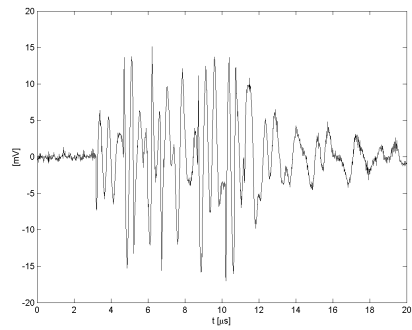
Rys. 2. Sygnał odebrany w odległości 1.5 mm od głowy: 2 okresy sinusa



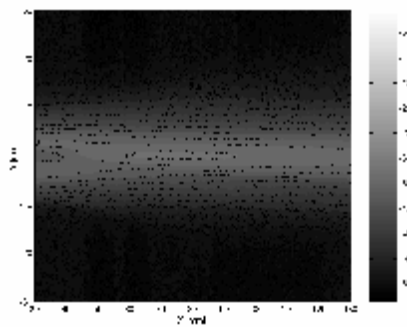
Rys. 3. Sygnał odebrany w odległości 1.5 mm od głowy: chirp



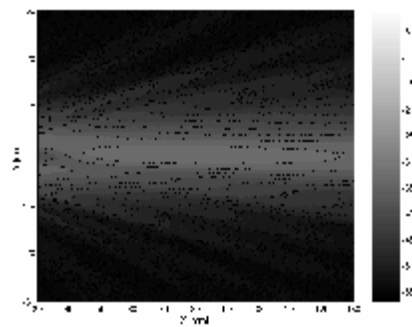
Rys. 4. Sygnał odebrany w odległości 1.5 mm od głowy: 13-bitowy kod Barkera



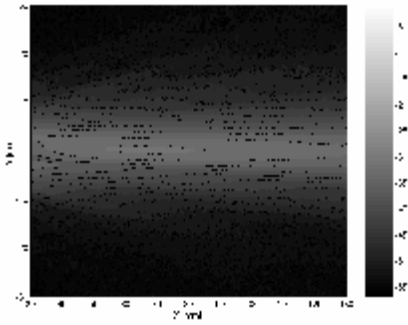
Rys. 5. Sygnał odebrany w odległości 1.5 mm od głowy: pierwszy element pary 16-bitowych kodów Golaya



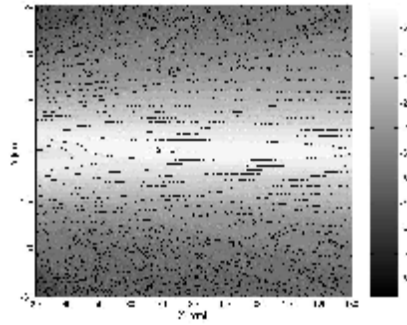
Rys. 6. Rozkład pola (dB): 2 okresy sinusa



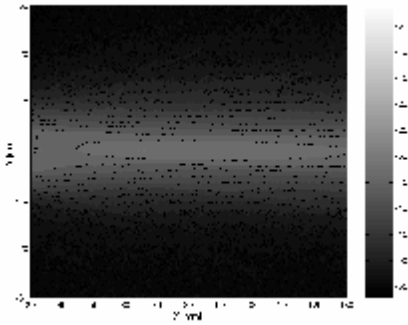
Rys. 7. Rozkład pola (dB): 16 okresów sinusa



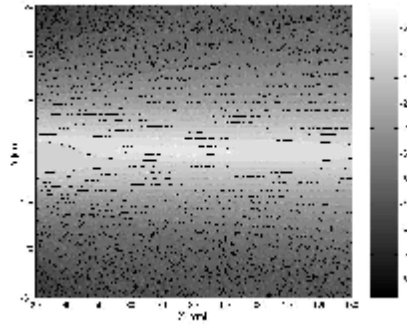
Rys. 8. Rozkład pola przed kompresją (dB): chirp



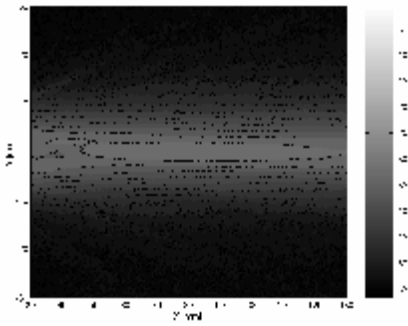
Rys. 9. Rozkład pola po kompresji (dB): chirp



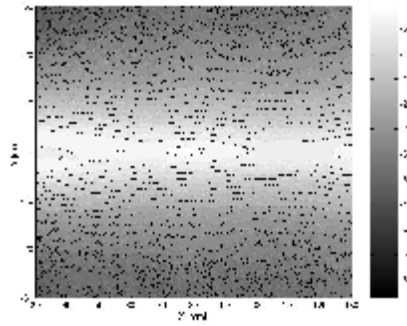
Rys. 10. Rozkład pola przed kompresją (dB): 13-bitowy kod Barkera



Rys. 11. Rozkład pola po kompresji (dB): 13-bitowy kod Barkera



Rys. 12. Rozkład pola przed kompresją (dB): pierwszy element pary 16-bitowych kodów Golaya



Rys. 13. Rozkład pola po kompresji (dB): 16-bitowy kod Golaya

## 5. WNIOSKI

Uzyskane wyniki pomiarów pokazują skuteczność transmisji kodowanej i jej odporność na duże zniekształcenia sygnału nadawanego. Największą poprawę dynamiki uzyskano dla modulacji chirp, ale biorąc pod uwagę fakt, iż pasma kodów Barkera i Golaya były znacząco szersze od pasma kodu chirp, a pasmo przetwornika ograniczone uznać to można za wynik większego zniekształcenia sygnału w stosunku do ideału w przypadku dwóch pierwszych kodów. Przestrzenny kształt wiązki nie ulega większym zmianom w procesie dekodowania. W porównaniu do sygnałów referencyjnych jakimi były sygnały sinusoidalne o liczbie okresów 2 i 16 wyraźnie widać, że większa szerokość pasm sygnałów kodowanych w stosunku do 16 okresów sinusa powoduje zmniejszenie listków bocznych wiązki.

## LITERATURA

- [1] A. Z. BUDISIN, New complementary pairs of sequences, *Electronics Letters*, **26**, 13, 881-883, (1990).
- [2] D. Z. DOKOVIC, Equivalence classes and representatives of Golay sequences, *Discrete Math.*, **189**:79-93, (1998).
- [3] M. J. E. GOLAY, Complementary series, *IRE Tran. Inf. Theory*, **IT-7**, 82-87, (1961).
- [4] T. MISARIDIS, Ultrasound imaging using coded signals, Center for fast ultrasound imaging, Technical university of Denmark, 2001.
- [5] A.NOWICKI, J.LITNIEWSKI, W.SECOMSKI, P.A.LEWIN, I.TROTS, Estimation of ultrasonic attenuation in a bone using coded excitation, *Ultrasonics*, **41**, 615-621 (2003).
- [6] M. O'DONNELL, Coded excitation system for improving the penetration of real-time phased-array imaging systems, *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics And Frequency Control*, **39**, 3, 341-351, (1992).
- [7] R. URBANKE, A. S. KRISHNAKUMAR, Compact description of Golay sequences and their extensions, 34th Allerton Conf. on Communication, Control, and Computing, Monticello, IL, October 2-3 1996.