

17th SYMPOSIUM ON HYDROACOUSTICS

Jurata May 23-26, 2000



BADANIE PRZETWORNIKA O NIERÓWNOMIERNIE ROZMIESZCZONYCH ELEMENTACH

A. Elminowicz, E. Porosińska
OBR Centrum Techniki Morskiej
81-109 Gdynia, ul. Dickmana 62, Poland
e-mail: andrzejc@ctm.gdynia.pl

SUMMARY

General object of nonuniform array design is the approximation of desired beam pattern with reduced number of elements which are required for uniform array of $d/\lambda=0,5$.

This work intends to study possibilities of design procedures lead to useful, nonuniform arrays with elements situated in raster $d/\lambda=0,5$.

Options of spacing elements for nonuniform arrays presented beneath are reduced to the raster $d/\lambda=0,5$, which enable easier technical realisation of the beamformer. Arrays with equal excited elements have been used, what is highly practical, both for transmission and receiving. Many designs of arrays have been proposed and tested. The beam patterns for steered beams are presented.

WPROWADZENIE

Największe znaczenie praktyczne w budowie sonarów posiadają wieloelementowe przetworniki liniowe o równomiernie rozmieszczonych elementach i odległościach pomiędzy ich środkami około $0,5\lambda$. Znane z literatury są również przetworniki o nierównomiernie rozmieszczonych elementach [1], w których celem jest zredukowanie liczby elementów z jednoczesnym uzyskaniem charakterystyki kierunkowej niewiele pogorszonej w stosunku do charakterystyki uzyskiwanej dla przetwornika o równomiernie rozmieszczonych elementach. W literaturze [1] przedstawiono wiele sposobów przestrzennego rozmieszczenia elementów przetwornika i uzyskiwanych w ten sposób charakterystyk kierunkowych, głównie przy założeniu jednakowego pobudzenia wszystkich elementów przetwornika, co znacznie upraszcza budowę nadajników oraz odbiorników współpracujących z takimi przetwornikami.

We współczesnych sonarach konieczne jest sterowanie wiązką lub formowanie wiązki na różnych kierunkach, co wymaga wprowadzenia odpowiednich opóźnień czasowych lub przesunięć fazowych do sygnałów sterujących poszczególne elementy przetwornika, przy czym wartość tych opóźnień lub przesunięć fazowych zależy od odległości pomiędzy elementami. Nierównomierne rozmieszczenie elementów według zastosowanej funkcji określającej budowę przetwornika znacznie utrudnia realizację sterowania wiązką i praktycznie przekreśla możliwość stosowania tego typu przetworników w sonarach. W celu

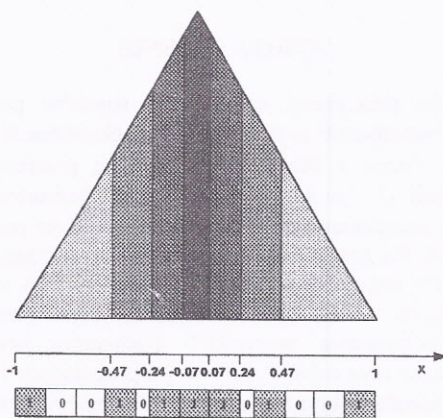
usunięcia tej niedogodności postanowiono przebadac przetworniki zbudowane z jednakowych elementów piezoceramicznych, rozłożonych nierównomiernie w matrycy przetwornika liniowego o rastrze $d/\lambda = 0,5$. Wykonano to, usuwając z wypełnionej w 100% matrycy przetwornika liniowego elementy zgodnie z zastosowaną funkcją nierównomiernego rozkładu. Rozwiązanie takie umożliwia sterowanie wiązką i formowanie wiązki przy stałym opóźnieniu czasowym lub przesunięciu fazowym dla rastru z realizacją techniczną tych operacji dla istniejących elementów przetwornika. Pewne prace na ten temat były prowadzone, jednak pod kątem badania wpływu awarii elementów przetwornika lub awarii związanych z nimi torów nadawczych lub odbiorczych na zniekształcenia wiązki. Ideą niniejszej pracy jest natomiast zbadanie wpływu znacznej redukcji elementów przetwornika liniowego według wybranej funkcji na kształtowanie charakterystyk kierunkowych, a także znalezienie metod minimalizacji zniekształceń charakterystyk kierunkowych przy jak największej redukcji elementów.

Ze względu na to, że koszt przetwornika jest proporcjonalny w przybliżeniu do liczby elementów, a koszt odbiornika do liczby torów odbiorczych, redukcja elementów przetwornika może znacznie zmniejszyć koszty budowy sonaru przy niewielkim pogorszeniu jego parametrów.

1. BUDOWA PRZETWORNIKÓW

Punktem wyjścia badań było zaprojektowanie przetworników liniowych o zredukowanym wypełnieniu matrycy elementami piezoceramicznymi w oparciu o następujące funkcje nierównomiernego rozmieszczenia elementów: półokrąg, trójkąt równoboczny, \cos^2 , Gaussa.

Wyznaczenie umiejscowienia elementów piezoceramicznych w projektowanych przetwornikach, wykonano stosując podział obszarów pod wybranymi do badań funkcjami na parzystą (4, 8, 16) i nieparzystą (3, 7, 15) ilość podobszarów o jednakowych powierzchniach pól, co przedstawiono przykładowo na rysunku 1 dla funkcji trójkątnej.



OZNACZENIA

„1” - element piezoceramiczny, pole szare

„0” - brak elementu piezoceramicznego, pole białe

Rysunek 1. Rozmieszczenie elementów przetwornika według funkcji trójkątnej.

Figure 1. Configuration of nonuniform array for triangular elements distribution.

Wyliczone w ten sposób pozycje poszczególnych elementów skorygowano przesuwając je do pozycji najbliższego rastra. Dla trójkątnej funkcji rozmieszczenia elementów przedstawionej na rysunku 1 i podziału na 7 podobszarów o jednakowych polach otrzymano:

-podstawa	2
-szerokość elementu środkowego	0,148
-ilość elementów $N = 2 / 0,148$	13,5; przyjęto 13 elementów
-ilość „1”	7
-ilość „0”	6

Uzyskano rozmieszczenie elementów „1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 0 0 1”, czyli przyjęto następującą budowę przetwornika liniowego:



Rozbudowa takiego przetwornika w celu zawężenia wiązki może odbywać się w dwojaki sposób: przez podział pola trójkąta na większą liczbę podobszarów lub przez dodanie elementów połowy przetwornika na oba jego końce. Tą drugą metodą uzyskano 2, 3 i 4 krotnie powiększenia przetwornika wyjściowego.

Przebadano również projekty przetworników o przypadkowym rozkładzie wypełnienia matrycy. W tym przypadku kierowano się oszczędnością elementów przetwornika w zakresie $60\% \pm 10\%$.

2. CHARAKTERYSTYKI KIERUNKOWE

Komputerową symulację charakterystyk kierunkowych przetworników wykonano przy użyciu programu komputerowego „ANTENA” dla następujących funkcji rozmieszczenia elementów:

- półokrąg, trójkąt, \cos^2 i Gaussa,
- o przypadkowym rozstawie elementów,
- symetrycznie powiększanych,
- o zwiększonym stosunku d/λ .

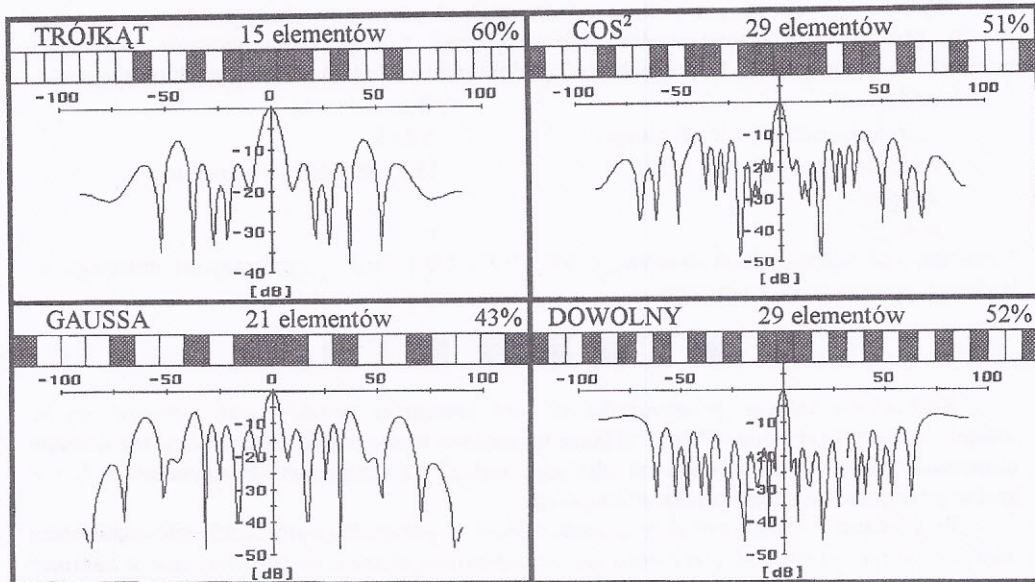
Określono wpływ koncentracji i rozrzedzenia elementów przetwornika na jego charakterystykę kierunkową przy danym procentowym wypełnieniu matrycy. Zasyulowano komputerowo sterowanie wiązki na kierunki: 20° , 40° , 60° i 80° oraz sprawdzono wpływ wzrostu stosunku d/λ na charakterystyki kierunkowe przy sterowaniu wiązką. Przyjęto następujące kryteria jakości zaprojektowanych przetworników:

- procent wypełnienia matrycy przetwornika elementami „1”,
- porównanie charakterystyk kierunkowych projektowanych przetworników z charakterystykami kierunkowymi przetworników o 100% wypełnieniu matrycy w zakresie: poziomu, 3 dB szerokości i zafalowania listka głównego; poziomu i kierunku pierwszego listka bocznego; poziomów i kierunków kolejnych listków bocznych; poziomu i kierunku najwyższego listka bocznego.

3. WYNIKI BADAŃ PRZETWORNIKÓW I ICH CHARAKTERYSTYKI KIERUNKOWE

Przeprowadzono szereg symulacji komputerowych dla przetworników liniowych o zredukowanej liczbie elementów polegającej na częściowym wypełnieniu matrycy zgodnie z funkcjami: półokrąg, trójkąt, \cos^2 , Gaussa co pozwoliło stwierdzić:

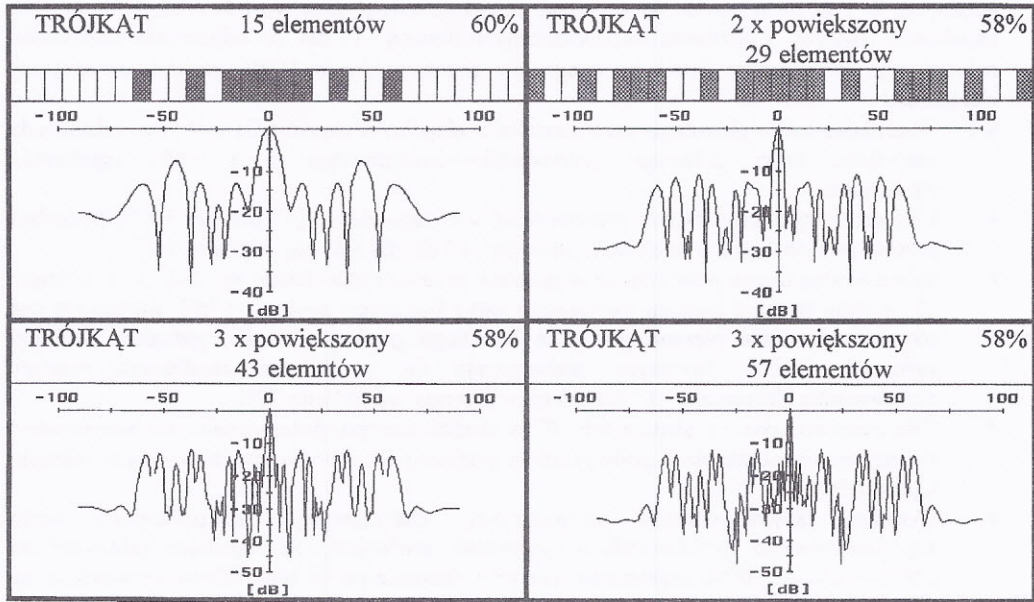
3.1. Jako funkcje modelujące projekty przetworników o nierównomiernym wypełnieniu matrycy najlepsze są funkcje o stromo opadających zboczach.



Rysunek 2. Charakterystyki kierunkowe dla następujących funkcji rozmieszczenia elementów przetwornika: trójkąt, \cos^2 , Gaussa i dowolny.

Figure 2. Beam patterns of the array for following functions of the elements distribution: triangular, \cos^2 , Gaussian, optional.

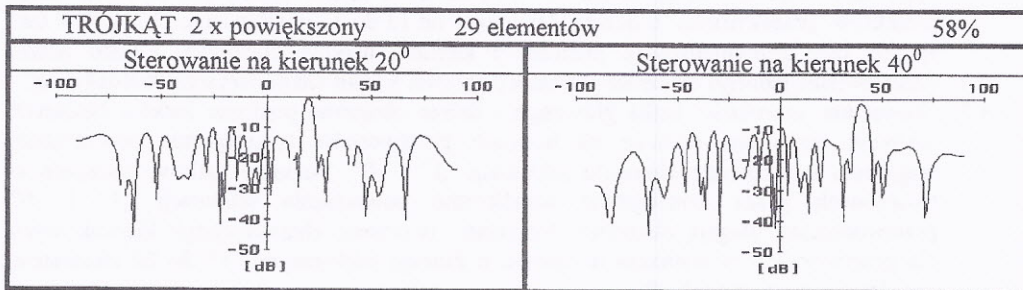
- 3.2. Charakterystyki kierunkowe przetworników powstałych w oparciu o zbadane funkcje rozmieszczenia elementów przedstawione na rysunku 2 posiadają następujące cechy:
- półokrąg: bardzo małe przerwy w rozstawie elementów, co daje małe oszczędności na elementach, nie prowadzono badań charakterystyk kierunkowych,
 - Gauss: wypełnienie „1” w granicach od 36% do 43%, charakterystyki kierunkowe o wysokim poziomie listków bocznych powyżej -10 dB w zakresie kątów $\pm 90^\circ$,
 - \cos^2 : wypełnienie „1” w granicach od 51% do 66%, charakterystyki kierunkowe posiadają w zakresie kątów $\pm 50^\circ$ najwyższe listki boczne na poziomie -10 dB, poziom listków bocznych początkowo obniża się a następnie wzrasta do wartości powyżej -10 dB, charakterystyki kierunkowe oceniono jako nieprzydatne do budowy sonarów,
 - trójkąt: wypełnienie „1” w granicach od 54% do 58%, charakterystyki kierunkowe posiadają w zakresie kątów $\pm 50^\circ$ najwyższe listki boczne na poziomie -8 dB w pobliżu 40° , poziom listków bocznych początkowo się obniża następnie wzrasta, symetryczne powiększanie przetworników przedstawione na rysunku 3 powoduje obniżenie poziomu najwyższych listków bocznych nawet o -4dB i utrzymują się one wówczas na równym poziomie w granicy $-12 \text{ dB} \pm 2 \text{ dB}$ dla zakresu kątów $\pm 90^\circ$, kształt charakterystyk kierunkowych tych przetworników poprawia się wraz z symetryczną rozbudową.



Rysunek 3. Charakterystyki kierunkowe przetworników dla trójkątnej funkcji rozmieszczenia elementów i symetrycznie powiększane.

Figure 3. Beam patterns of the array for triangular function of the elements distribution and symmetrically enlarged.

- 3.3 Przeprowadzone symulacje komputerowe zaprezentowane na rysunku 4 wykazały że, można sterować wiązką tego typu przetworników na kierunki do $\pm 60^\circ$ przy poziomie listków bocznych nie przekraczających -10 dB.



Rysunek 4. Sterowanie wiązki na kierunki 20° i 40° .

Figure 4. Beam steered for 20° and 40° .

4. WNIOSKI

Analiza charakterystyk kierunkowych przetworników powstałych w oparciu o zbadane funkcje rozmieszczenia elementów pozwoliła zaobserwować wpływ rozmieszczenia „1” i „0” oraz procentowego wypełnienia matrycy przetwornika liniowego na układ i poziom listków

bocznych. W oparciu o zaobserwowane zależności powstały przetworniki o od 50% do 60% wypełnieniu matrycy i poziomie listków bocznych poniżej -13 dB, co odpowiada poziomowi najwyższego, pierwszego listka bocznego dla przetwornika o 100% wypełnieniu matrycy elementami.

- 4.1. Szerokość listka głównego przetwornika o niepełnym wypełnieniu matrycy odpowiada szerokości listka głównego przetwornika kompletnego tj. o 100% wypełnieniu elementami.
- 4.2. Charakterystyki kierunkowe przetworników o wypełnieniu „1” poniżej 50 % posiadają wysoki poziom listków bocznych, powyżej -10 dB dla zakresu kątów $\pm 90^\circ$.
- 4.3. Przez równomierne powtarzanie w matrycy przetwornika układu np. 2-3 „1” i jednego „0” można obniżyć poziom pierwszego listka bocznego poniżej -17 dB, możliwym jest również obniżenie pierwszego listka bocznego poniżej -20 dB, jednakże poziomy kolejnych listków bocznych podwyższają się, a procent wypełnienia matrycy przetwornika elementami „1” jest wysoki i wynosi od 65% do 72%.
- 4.4. Dla przetworników o elementach „0” w środku matrycy przetwornika zaobserwowano naprzemienne obniżanie i podwyższanie poziomu listków bocznych w całym zakresie kątów $\pm 90^\circ$.
- 4.5. Analiza zasymulowanych komputerowo charakterystyk kierunkowych wielu zaprojektowanych przetworników pozwoliła stwierdzić, że najlepsze (zbliżone do przetwornika o 100% wypełnieniu matrycy) charakterystyki kierunkowe ze względu na układ listków bocznych mają przetworniki o następującej budowie: niewielka koncentracja „1” w środku przetwornika np. 3-5 elementów, następnie kolejne powtarzanie układu „01” i ostatnia „1” poprzedzona dwoma „0”. Pozwala to stworzyć oszczędnościowe przetworniki o wypełnieniu matrycy elementami czynnymi w granicy od 50% do 60%. Listki boczne takich przetworników mają najwyższy poziom odpowiadający poziomowi najwyższego pierwszego listka bocznego przetwornika o 100% wypełnieniu matrycy wynoszącym -13 dB a ich poziomy utrzymują się na zbliżonej wartości lub obniżają się dla końca zakresu kątów przedziale $\pm 90^\circ$.
- 4.6. Przy projektowaniu przetworników o liczbie elementów przekraczających 25 i wypełnieniu matrycy na poziomie od 50% do 60% najkorzystniej jest stworzyć kilka projektów przetwornika o liczbie elementów od 13 do 17 rozstawiając „1” i „0” w taki sposób aby zoptymalizować poziomy i kierunki listków bocznych. Często nawet przedstawienie jednego elementu znacznie poprawia kształt charakterystyki kierunkowej.
- 4.7. Zawężenie szerokości listka głównego i dalsze obniżenie poziomu listków bocznych uzyskuje się przez dodanie na końcach przetwornika symetrycznie powtórzonej względem środkowego elementu sekwencji „1” i „0”. Poziomy listków bocznych w tworzonych przez symetryczne wielokrotne powtarzanie sekwencji „1” i „0” przetwornikach ulegają obniżeniu. Przykład tworzenie charakterystyk kierunkowych dla przetwornika powstałego w oparciu o funkcję trójkątną od 15 do 29 elementów przedstawiono na rysunku 3.
- 4.8. Wzrost stosunku d/λ tak, jak w przetwornikach o 100% wypełnieniu matrycy powoduje zmniejszenie szerokości listka głównego i wzrost listków bocznych.

LITERATURA

1. B.D. Steinberg. Principles of aperture and array system design. A Wiley Interscience Publication. 1975.