

Zbigniew Gumienny, Nieczysław Pluta

Instytut Fizyki Politechniki Wrocławskiej

Wyb. Wyspiańskiego 27 50 370 WROCLAW

Wiesław Bicz, Dariusz Kosz

PBP "OPTEL" ul. Otwarta 10a 50 212 WROCLAW

REKONSTRUKCJA STRUKTUR DWUWYMIAROWYCH Z ZASTOSOWANIEM ALGORYTMU FFT

1. Wprowadzenie

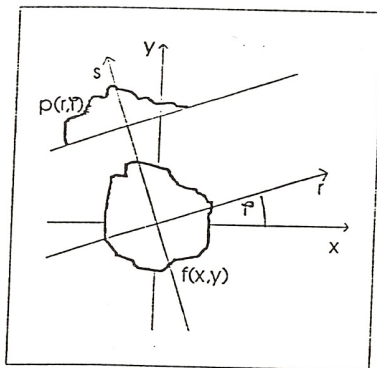
Podstawowym obszarem zainteresowania autorów są ultradźwiękowe metody identyfikacji struktur dwuwymiarowych, w szczególności linii papilarnych palców. Transformację Fouriera dwuwymiarowego obiektu odbiciowego lub transmisyjnego odnaleźć można w jego dalekim polu dyfrakcyjnym (1,2). W przypadku struktur periodycznych ich transformacja Fouriera jest mniej złożona od samego obiektu, dlatego korzystne jest skanowanie nie samego obiektu lecz jego widma dyfrakcyjnego (mniejsza liczba próbek, krótszy czas). Od kilku lat autorzy rozwijają metodę identyfikacji osób, na podstawie analizy rozkładu dalekiego pola ultradźwięków ugiętych na układzie linii papilarnych (3). Przedstawiony w niniejszej pracy układ do tomograficznej rekonstrukcji stanowi uzupełniające narzędzie, dostarczające informacji o akustycznym obrazie badanego obiektu.

2. Geometria zagadnienia i algorytm rekonstrukcji.

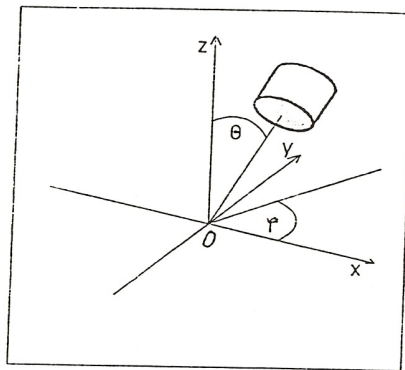
Rozpatrzmy strukturę dwuwymiarową o rozkładzie współczynnika odbicia $f(x,y)$ (rys.1.). Rzut $p(r,\phi)$ tego rozkładu na kierunek ϕ jest całką z $f(x,y)$ liczoną wzdłuż prostych prostopadłych do kierunku ϕ

$$p(r,\phi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(r \cos(\phi) - s \sin(\phi), r \sin(\phi) + s \cos(\phi)) ds \quad (1)$$

Dwuwymiarowa funkcja $p(r,\phi)$, zawierająca rzuty na wszystkie kierunki ϕ , nazywana jest transformatą Radona $p(r,\phi) = R(f(x,y))$.



Rys.1. 1D projection of a 2D function.



Rys.2. Position of the transducer.

Na rysunku 2 przedstawiono schematycznie płaski przetwornik, którego środek leży w punkcie określonym przez współrzędne cylindryczne ϕ, θ, Z . Normalna do powierzchni przetwornika przechodzi przez początek układu współrzędnych. Dwuwymiarowy obiekt o rozkładzie współczynnika odbicia $f(x,y)$ leży w płaszczyźnie $z=0$.

Przetwornik generuje krótki impuls akustyczny. Zakładamy, że impuls ten rozchodzi się w ośrodku jako fala płaska z prędkością v . W kolejnych momentach czasu płaszczyzna czoła fali przecina płaszczyznę obiektu wzdłuż prostej prostopadłej do kierunku ϕ . Echo od elementów prostej leżącej w odległości r od środka układu O wraca po czasie

$$t = 2 (Z/\cos(\theta) - r \sin(\theta)/V) \quad (2)$$

W przypadku idealnym odpowiedź impulsowa $e(t,\phi)$ jest przeskalowanym rzutem rozkładu współczynnika odbicia struktury.

Możliwy jest pomiar i zapamiętanie odpowiedzi impulsowych $e(t,\phi)$ dla wszystkich kątów ϕ . Podstawienie (2) zmienia ten zbiór pomiarowy na transformatę Radona $p(r,\phi)$ funkcji $f(x,y)$.

Rekonstrukcja funkcji $f(x,y)$ ze zbioru rzutów jest typowym zadaniem tomograficznym. W prezentowanym układzie dokonywana jest w oparciu o twierdzenie o rzutowaniu

$$F^2\{f(x,y)\}(q \cos(\phi), q \sin(\phi)) = F^{-1}\{p(r,\phi)\}(q) \quad (3)$$

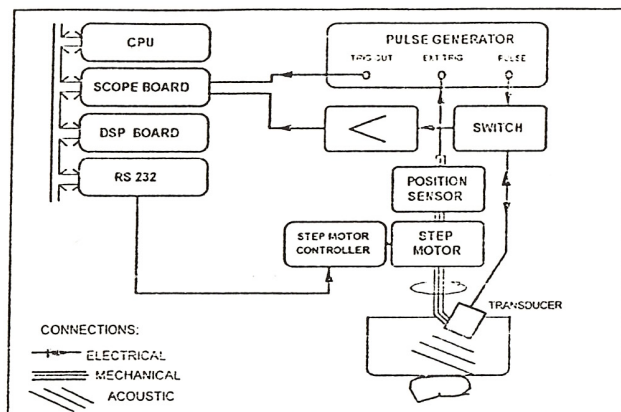
(F^{-1}, F^2) - jedno i dwuwymiarowa transformacja Fouriera)

Na podstawie twierdzenia (3), ze zbioru rzutów wyznaczyć można numerycznie dwuwymiarową transformatę Fouriera obiektu $F(u,v)$.

Ostateczny efekt rekonstrukcji uzyskuje się po obliczeniu odwrotnej dwuwymiarowej transformacji Fouriera.

Numeryczną realizację rekonstrukcji obiektu przyspiesza zastosowanie algorytmu szybkiej transformaty Fouriera (FFT).

3. Układ pomiarowy



Rys.3. Block diagram of the setup.

W laboratoryjnym układzie do rekonstrukcji wydzielić można trzy zasadnicze bloki funkcjonalne.

Blok głowicy mechaniczno-akustycznej (rys.3.) zawiera:

- przetwornik kompozytowy 6MHz (TRANSDUCER),
- wypełnione wodą naczynie z okienkiem pomiarowym w dnie,
- układ mechaniczny z silnikiem krokowym (STEP MOTOR),
- sterownik silnika (STEP MOTOR CONTROLLER),
- kontroler położenia (POSITION SENSOR),

W skład bloku nadawczo-odbiorczego wchodzi:

- generator impulsów (PULSE GENERATOR),
- przełącznik sygnału (SWITCH),
- przedwzmacniacz (<):

Komputer z procesorem 486/33 MHz (CPU), zawierający:

- kartę oscyloskopową 40 MHz (SCOPE BOARD),
- kartę cyfrowego przetwarzania sygnału (DSP),

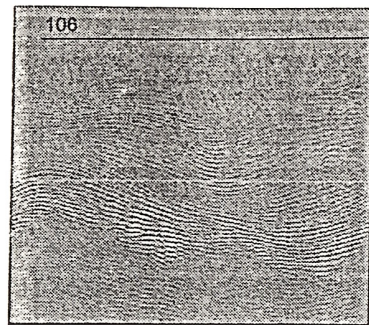
Przetwornik zawieszony jest pod kątem 15 stopni względem osi napędzanej przez silnik krokowy. Oś pokrywa się z osią okienka pomiarowego, do którego przykładany jest palec. Przetwornik wysyła impulsy i odbiera echo dyfrakcyjne fali ugiętej na liniach papilarnych. Te odpowiedzi impulsowe próbkowane są przez kartę oscyloskopową i zapamiętywane w macierzy pomiarowej o wymiarze 256•256 elementów. Algorytm rekonstrukcji realizowany jest przez komputer i kartę DSP, przy czym karta DSP służy przede wszystkim do obliczania FFT. Cykl pomiarowy wraz z rekonstrukcją obiektu trwa około 8s. Wynik rekonstrukcji jest funkcją zespoloną. Rozkład fazy tej funkcji świadczyć może o grubości elementów obserwowanego obiektu.

Tor akustyczny realizowany jest w dwu wersjach o różnej geometrii. Wymieniony powyżej przetwornik płaski współpracuje z płaskim okienkiem pomiarowym. Druga wersja zawiera przetwornik punktowy (o średnicy rzędu kilku długości fali) i okienko ogniskujące. Można wykazać równoważność obu wersji.

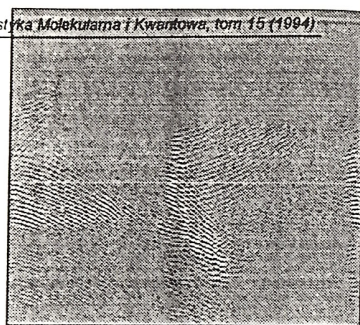
4. Przykłady rekonstrukcji

W laboratorium pomiary i rekonstrukcja linii papilarnych wykonywane są głównie w celu uzyskania obrazowej informacji o akustycznych własnościach struktury przypowierzchniowej palca. Poprawność rekonstrukcji zależy od dokładności zestawienia mechaniki układu, pasma przenoszenia przetwornika, a w przypadku układu z przetwornikiem punktowym - od doskonałości układu ogniskującego (np. jego aberracje ujawniają się w postaci zaburzeń fazy zrekonstruowanej funkcji). Dlatego metoda rekonstrukcji stosowana jest także w celu kontroli jakości układu i przetworników.

Poniżej przedstawiono dwa przykłady macierzy pomiarowych i zrekonstruowanych z nich układów linii papilarnych.



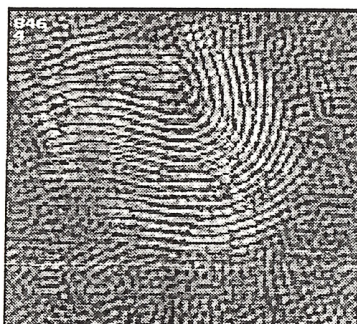
(a)



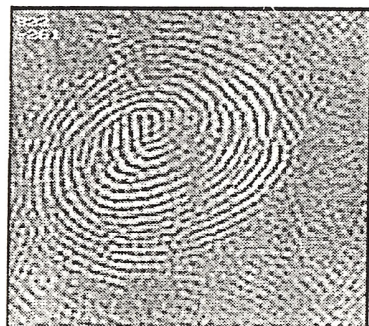
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Rys.4 Przykładowe dane pomiarowe dla dwóch różnych palców (a)(b) i efekt rekonstrukcji na podstawie modułu (c)(d) oraz części rzeczywistej (e)(f).

5. Podsumowanie

Pomiary i rekonstrukcja opuszków palców wykazały, że dyfrakcja pola akustycznego następuje na strukturach identycznych z liniami papilarnymi. Uzyskano również rekonstrukcje dla innych struktur, dających słabsze echo dyfrakcyjne niż palec np: pieczętki gumowe, dyfrakcyjne siatki wzorcowe. Analiza błędów rekonstrukcji tych struktur pozwoliła wyznaczyć funkcję aparaturową układu. Dzięki temu uzyskano znaczną poprawę jakości rekonstruowanych obrazów. Układ rozdziela linie odległe o 0.3 mm. przy polu widzenia 20 mm. Wprowadzenie w miejsce przetwornika ruchomego, pierścieniowej macierzy przetworników punktowych przełączanych przez multiplexer, przekształca opisany układ w szybki ultradźwiękowy mikroskop fourierowski.

LITERATURA

- (1) J.W. GOODMAN, "Introduction to Fourier Optics", McGraw-Hill Book Co., New York (1968)
- (2) B.P. HILDEBRAND, B.B. BRENDEN "An Introduction to Acoustical Holography", Plenum Press, New York (1972)
- (3) W. BICZ, Z. GUMIENNY, M. PLUTA "Ultradźwiękowy czujnik do rozpoznawania palców" III konferencja COE'94, maj 94,

FOURIER TRANSFORM PATTERN RECONSTRUCTION

Z. Gumieny, M. Pluta, Institute of Physics, Technical University of Wrocław

W. Bicz, D. Kosz, PBP "OPTEL" ul. Otwarta 10a 50 212 WROCLAW

Computer controlled experimental setup, with 40 MHz oscilloscope PC board, for fast acoustic echo data collection and 2D pattern reconstruction, is presented. Process of reconstruction is based on the Projection Theorem and 2D Fast Fourier Transform. Experimental conditions are discussed. Some examples of measurements and reconstruction of 2D quasi-periodical patterns are presented.