



Przedsiębiorstwo Badawczo-Produkcyjne

OPTEL Sp. z o.o.

ul. Otwarta 10a

PL 50-212 Wrocław

tel.: +48 (71) 329 68 53 fax: 329 68 52

NIP 898-10-47-033

R&D: Ultrasonic Technology / Fingerprint Recognition

<http://www.optel.pl> e-mail: optel@optel.pl

Podstawy ultrasonografii holograficznej

Wiesław Bicz

O możliwości praktycznego wykorzystania metod holograficznych do wizualizacji trójwymiarowych struktur przedmiotów przy pomocy fal dźwiękowych.

Wprowadzenie

Metody holograficzne znajdują szerokie zastosowanie głównie w optyce. Są one stosowane nie tylko do produkcji obrazów dających wrażenie przestrzenności, lecz także do pomiaru drgań i deformacji różnych przedmiotów. W akustyce idea holografii praktycznie nie jest stosowana. Dominują tutaj metody używające aperturę syntetyczną, dążące do uzyskania obrazów przekrojów badanych przedmiotów. W niektórych przypadkach wykorzystuje się, co prawda, także informację o fazie uzyskanych sygnałów, praktycznie jednak nigdy nie zdarza się wykorzystanie kompletnej informacji o froncie falowym, rozproszonym przez obiekt, co cechuje metody holograficzne.

W artykule tym chciałbym pokazać, że możliwe jest wykorzystanie metod holograficznych w praktyce ultrasonograficznej, jak też i pokazać trudności, które mogą wystąpić przy ich realizacji.

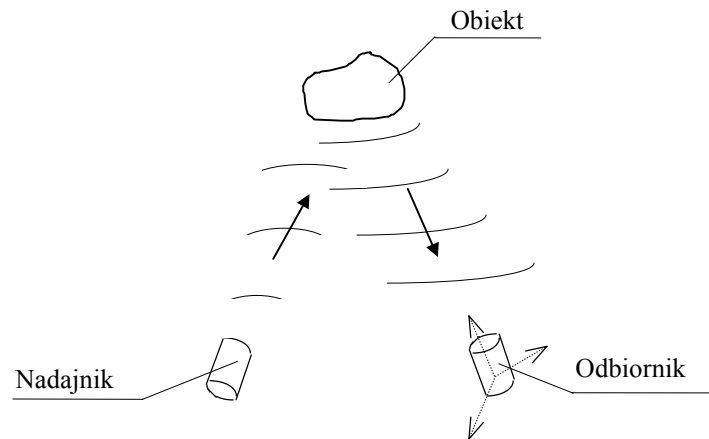
Podstawy techniki holograficznej

Wychodzę z założenia, że czytelnicy tego artykułu zdają sobie sprawę z tego, że podstawą holografii jest metoda, pozwalająca na zebranie kompletnej informacji o fali, która została rozproszona przez badany obiekt. Informacja ta pozwala na odtworzenie jego wiernego obrazu. W optyce odbywa się to w ten sposób, że doprowadza się do interferencji fali rozproszonej z tzw. falą odniesienia i rejestruje to zjawisko na materiale światłoczułym. Aby zrekonstruować falę rozproszoną przez obiekt, gotowy hologram (stanowiący specyficzną siatkę dyfrakcyjną) oświetlany jest falą, odpowiadającą fali odniesienia.

W akustyce metody tej nie da się użyć, nie ma to też specjalnego sensu. Przede wszystkim nie ma niczego, co by odpowiadało materiałom światłoczułym, nie ma też potrzeby używania fali odniesienia, bo można ją łatwo wytworzyć sztucznie, przy pomocy elektroniki. Przy okazji wspomnieć należy, że w przeciwieństwie do optyki, prawie każde źródło dźwięku może być uznane za koherentne. Typowe i sensowne jest próbkowanie pola akustycznego przy pomocy jednego (ruchomego) lub wielu przetworników.

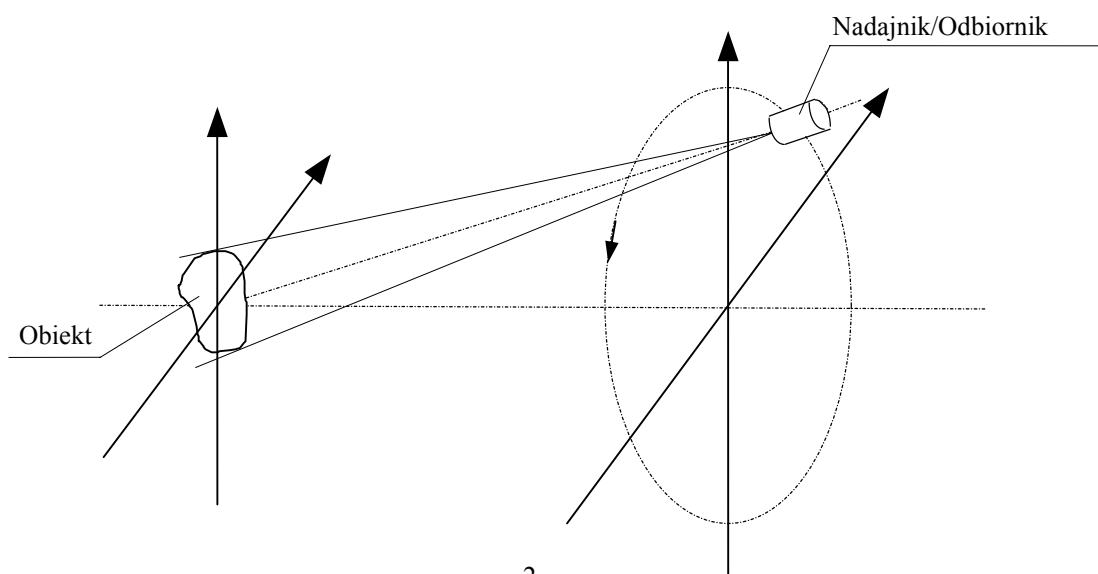
Najłatwiej wyobrazić sobie następującą metodę uzyskania hologramu akustycznego: Fala rozproszona przez obiekt próbkowana jest przy pomocy przetwornika, poruszającego się po powierzchni płaskiej, sferycznej lub też o innym kształcie (patrz rys 1.). Dla wierności odwzorowania istotne jest przy tym, jaka jest

jakość fali, oświetlającej obiekt i jak bardzo przetwornik próbkujący zbliżony jest do punktowego. Pomiar taki można zrealizować, metoda ta ma jednak poza laboratorium tylko niewielkie znaczenie praktyczne, mechaniczne próbkowanie pola trwa długo i wymaga dość skomplikowanej maszynarii. Trudno też wyobrazić sobie użycie macierzy przetworników, co na pewno ułatwiłoby praktyczne zastosowanie metody. Ze względu na konieczność użycia znacznej ich ilości wykonanie takiej macierzy praktycznie nie wchodzi w grę. Metoda ta ma jednak pewną zaletę: podobnie jak w optyce można użyć fali monochromatycznej. Niekonieczne są przez to szerokopasmowe przetworniki i pracować można z dużym wzmocnieniem.



Rys 1.

Znacznym uproszczeniem jest skanowanie pola tylko po jednym okręgu (Rys. 2 pokazuje realizację tej możliwości z użyciem jednego, obracającego się przetwornika, Rys. 3 z użyciem pierścienia przetworników). Najłatwiej jest na pewno zrealizować takie urządzenie przy użyciu jednego przetwornika, poruszającego się po okręgu. Zrobiliśmy tak w naszych urządzeniach do analizy odcisków palców. Niewątpliwie jednak uzyskaliśmy w ten sposób jedynie hologram jednej powierzchni (i taki też mieliśmy zamiar). Można jednak pokazać, że metoda ta nadaje się też do rejestracji hologramów obiektów trójwymiarowych. Dowieść tego chciałbym w dalszej części tego artykułu. Najpierw jednak spróbuję pokazać różnice pomiędzy metodami holograficznymi a klasycznymi.



Klasyczne metody ultrasonograficzne

Najprostsza, ciągle jeszcze używana metoda wykorzystuje ruchomy przetwornik, wysyłający w głąb badanego obiektu wiązkę dźwięku. Złożenie ech z różnych kierunków daje w efekcie obraz przekroju badanego ciała, pozwalający na zobaczenie jego struktury wewnętrznej. Metoda ta byłaby prawdopodobnie idealna, gdyby możliwe byłoby wytworzenie wiązki dźwięku podobnej do promienia laserowego: o dużej intensywności i małym przekroju. Przy użyciu klasycznych przetworników daje ona obrazy o dość małej rozdzielczości.

Bardziej skomplikowana jest metoda wykorzystująca wiele przetworników i ideę apertury syntetycznej. Możliwych jest tu wiele kombinacji:

- Przetworniki mogą wysyłać impulsy z różnymi opóźnieniami.
- Odebrane sygnały mogą być składane z różnymi opóźnieniami.
- Przetworniki mogą być w różny sposób ustawione w przestrzeni.
- Przeważnie próbuje się uzyskać coś w rodzaju syntetycznego ogniska.

Dla wszystkich sposobów wykorzystania apertury syntetycznej z użyciem wielu przetworników wspólny jest jeden problem: Ponieważ każdy przetwornik wytwarza pole niezależne od innych i na ogół kiepskiej jakości, powstaje szum fazowy, ograniczający znacznie możliwą do uzyskania rozdzielczość. Spowodowanych tym zakłóceń nie da się wyeliminować nawet najbardziej wyrafinowanymi metodami matematycznymi. Można jednak powiedzieć, że zarówno w metodach wykorzystujących aperturę syntetyczną, jak też w ultrasonografii holograficznej chodzi o odpowiedź na następujące pytanie: ***Ile, i w jaki sposób zamontowanych przetworników nadawczych i odbiorczych powinno się używać, jak należy je pobudzać, i co należy zrobić z otrzymanymi sygnałami?***

Klasyczna ultrasonografia używa standardowo linijek z wieloma przetwornikami. Każdy z nich używany jest zarówno jako nadajnik, jak też jako odbiornik. Są one przeważnie prostokątne, tzn. rozciągłość kątowna pola akustycznego przez nie wytwarzanego jest w jednym kierunku znaczną, a w drugim małą (występuje tu nawet ognisko). W efekcie uzyskać można w ten sposób obraz przekroju stosunkowo grubej warstwy.

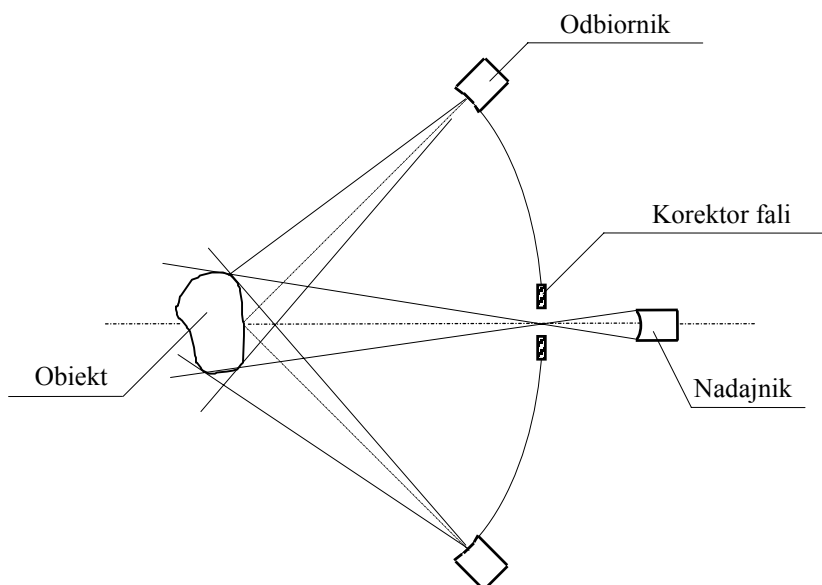
Obraz trójwymiarowy uzyskuje się w ten sposób, że głowicę taką przesuwa się mechanicznie i elektronicznie składa obrazy uzyskane w różnych pozycjach. Tego typu procedura jest naturalnie dość kłopotliwa i nie jest w stanie dostarczyć obrazów w czasie rzeczywistym.

Zaproponowane zostały też metody wykorzystujące macierze dwuwymiarowe. Wydaje się jednak, że ze względu na trudności z ich wykonaniem mają one znikome szanse na praktyczne zastosowanie. Nawet jednak, gdyby do tego doszło, spowodowałoby to jedynie przyśpieszenie czasu, potrzebnego do akwizycji obrazu, ale nie zmieniłoby nic w samej zasadzie działania urządzenia.

Jak może wyglądać ultrasonograf holograficzny?

W chwili obecnej istnieje następujące wyobrażenie na temat konstrukcji takiego urządzenia (przedstawione ono zostało na rys. 3): Silny nadajnik w centrum wysyła impuls gaussowski (o idealnie sferycznej fazie) o znacznej amplitudzie.

Pierścień przetworników (w którym każdy przetwornik powinien być zbliżony do punkowego), zbiera echa, powstające wskutek rozpraszania wysłanego impulsu na badanym obiekcie. Sygnały te mogą być zbierane sekwencyjnie lub równoległe, próbkowane z odpowiednio dopasowaną częstotliwością, zamienione w sygnały cyfrowe i jako takie przetwarzane. Na podstawie doświadczeń z kamerą do obserwacji palców wydaje się możliwe uzyskanie rozdzielczości rzędu 1/10 milimetra przy pomocy pierścienia zawierającego ok. 300 przetworników.



Rys 3.

Zalety metody holograficznej

- Możliwe jest uzyskanie obrazów trójwymiarowych w czasie rzeczywistym (zasadniczo możliwe jest nawet uzyskanie setek obrazów na sekundę).
- Rozdzielczość może być - w porównaniu z klasycznymi metodami - znacząco zwiększona, nie występuje bowiem szum fazowy i nie jest konieczne akceptowanie skończonej szerokości wiązki.
- Urządzenia tego typu nie będą bardziej skomplikowane niż wykonane w sposób klasyczny. Wygląda nawet, że będą one znacznie tańsze.

Realizacja praktyczna takiego urządzenia wymagać jednak będzie rozwiązania dodatkowych problemów (kilka dość istotnych problemów zostało już rozwiązanych przy tworzeniu naszego urządzenia do analizy odcisków palców). Najważniejsze będzie znalezienie sposobu przetwarzania uzyskanych danych na obrazy trójwymiarowe (choć podstawowe problemy zostały już rozwiązane). Rozważania dokonane w trakcie realizacji urządzeń do palców pokazują, że realistyczne jest oczekiwanie obrazów trójwymiarowych w czasie rzeczywistym. Zbieranie danych może się mianowicie odbywać w czasie podobnym do potrzebnego w klasycznej ultrasonografii, szybkość ich pokazywania zależy natomiast od szybkości obróbki danych (która może być wystarczająca) a także od tego, jaki sposób przedstawienia danych zostanie wybrany.

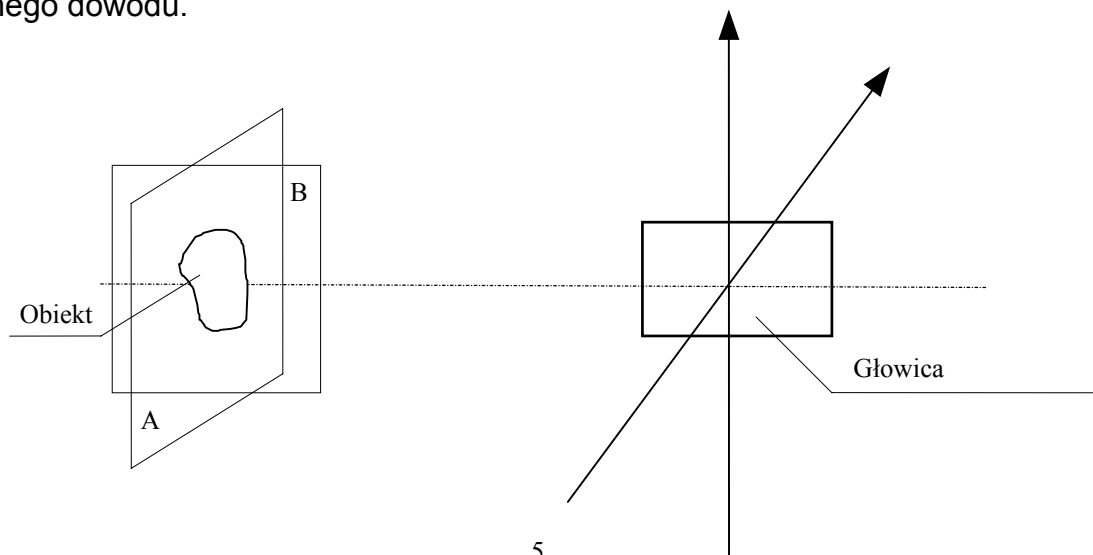
Uzasadnienie rozwiązania z wykorzystaniem jednego pierścienia

Istnieje kilka sposobów uzasadnienia, że wykorzystanie pierścienia przetworników pozwala na uzyskanie kompletnej informacji o hologramie badanego przedmiotu. Najprostszy uwzględnia fakt, że zmiana częstotliwości fali, użytej przy wykonaniu hologramu prowadzi do jego powiększenia lub pomniejszenia. Jeśli wyobrazimy więc sobie, że zbieramy informacje tylko z jednego pierścienia, ale zmieniamy przy tym długość fali, to uzyskamy taki efekt, jakbyśmy przeskanowali cały hologram, używając wielu koncentrycznych pierścieni odbiorczych. Efekt będzie więc odpowiadał temu, co moglibyśmy uzyskać, wykorzystując metodę, przedstawioną na rys. 1. Łatwo jest pokazać, że konieczne jest przy tym użycie częstotliwości z zakresu odpowiadającego częstotściom przestrzennym przedmiotu. Najsensowniejsze jest przy tym użycie impulsu o odpowiednio szerokim paśmie (co wymaga zastosowania odpowiednich przetworników). Dzięki stosowaniu impulsów możliwe jest uzyskanie informacji o czasie propagacji fali rozproszonej.

Konieczne jest przy tym zrobienie następującego założenia: Badany obiekt powinien rozpraszać równomiernie we wszystkich kierunkach. Na szczęście założenie to jest prawdziwe dla ciała ludzkiego i dla większości obiektów biologicznych. W razie, gdy założenie to nie jest spełnione, nie jest możliwe zebranie przy pomocy jednego pierścienia informacji o kompletnym hologramie przedmiotu (informacja zawarta w falach, rozproszonych w kierunkach nie obejmujących pierścienia nie zostanie zebrana).

W razie użycia impulsu o kulistej fazie, punktowych odbiorników i uwzględnienia tego w procedurach rekonstrukcji, uzyskany hologram będzie fourierowski. Ułatwia to rekonstrukcję obrazów przekrojów, ponieważ możliwe jest używanie algorytmów, które odpowiadają używanym w tomografii (prawdziwe jest twierdzenie o rzutach). Dokładnie w ten sposób robione jest to w naszej kamerze do wizualizacji odcisków palców.

Pomiary wykonane przy pomocy proponowanego układu pokazują, że możliwe jest rozróżnienie wielu płaszczyzn i przedstawienie ich w postaci przekrojów (oznaczonych jako płaszczyzna A na rys. 4), jeśli badane przedmioty nie są nadto skomplikowane. W przypadku, gdy przedmiot staje się bardziej skomplikowany, poszczególne przekroje wpływają za bardzo na siebie i trudno jest mi odpowiedzieć na pytanie, czy można pokazać przekroje takiego przedmiotu (zarówno te klasyczne ultrasonograficzne - typu B, jak też typu A, które nazwał bym tomograficznymi). Przypuszczam, że można to zrobić, nie potrafię jednak na razie przedstawić żadnego dowodu.



Rys 4.

Pewne jest jednak, że przedstawienie uzyskanych danych w postaci odpowiadającej klasycznemu optycznemu hologramowi pozwoli na pokazanie obrazu w prawidłowej postaci. To, co się w takim przypadku zobaczy będzie jednak przypominało przeźroczysty model anatomiczny i w niczym nie będzie podobne do klasycznych obrazów ultrasonograficznych. W razie, gdyby obraz taki pokazany został przy pomocy displaya trójwymiarowego (najlepszy byłby oczywiście display holograficzny), człowiek go obserwujący miałby zupełnie nowe wrażenia. Tego rodzaju wizualizacji struktur anatomicznych nie da się mianowicie uzyskać przy pomocy używanych dzisiaj metod. Co najwyżej można by próbować symulować ją przy pomocy danych uzyskanych innymi metodami (np. tomograficznymi).

Uzyskane obrazy można by naturalnie wykonywać jako syntetyczne hologramy optyczne i demonstrować je przy użyciu metod optycznych. W czasie rzeczywistym byłoby to możliwe, gdyby istniał display holograficzny lub też wystarczająco efektywna metoda pokazywania takich obrazów na klasycznych monitorach.

Na pewno możliwe byłoby też oglądanie hologramów warstw typu A, znajdujących się na różnych głębokościach. Możliwe byłoby też powiększanie fragmentów. I to zarówno przy pomocy programów odpowiednio obrabiających dane, jak też poprzez zmianę rozciągłości kątowej nadawanej wiązki. Odpowiadałoby to z grubsza zmianie powiększenia w mikroskopie. Uwzględnić przy tym należy, że grubość widzianej warstwy będzie zawsze związana z szerokością użytej wiązki: im mniejsza szerokość, tym mniejsza jest możliwa grubość.

W razie, gdyby możliwe byłoby stworzenie prawdziwie holograficznego ekranu, nie byłaby konieczna jakakolwiek obróbka danych. Stała by się ona nieodzowna, gdyby trzeba było uzyskać obrazy przekrojów, także wtedy, gdy użyte będą klasyczne ekrany. Przetworzenie (a raczej filtracja) danych będzie także wymagana, gdy zechce się skorygować zniekształcenia wprowadzane np. przez warstwy podskórnego tłuszczu.

Co trzeba jeszcze zrobić dla zbudowania ultrasonografu holograficznego?

1. Skonstruowane zostały już wystarczająco szerokopasmowe przetworniki, jednak nie są one dostępne w wersji, pozwalającej na stworzenie odpowiedniej jakości pierścienia odbiorczego. Konieczne jest skonstruowanie i wykonanie odpowiedniej głowicy odbiorczej wraz z elektroniką.
2. Rozwiązać trzeba problem wizualizacji uzyskanych danych.
3. Konieczne wydaje się też opanowanie procedur pozwalających na wizualizację obrazów przekrojów. W tym celu potrzeba zarówno wysiłków w celu stworzenia odpowiedniej teorii, jak też i hardware'u, który pozwoli na szybkie wykonanie koniecznych obliczeń.
4. Sensowne byłoby też przewidzenie możliwości korekcji dla możliwych zniekształceń (wiąże się to z problemami, przedstawionymi w punktach 2 i 3).

Co już zostało zrobione?

1. Rozwiązany został problem wytwarzania silnego impulsu o fazie idealnie kulistej.
2. Praktycznie wszystkie elementy potrzebnej elektroniki już istnieją.
3. Podstawy teoretyczne są w dużym stopniu jasne.

Artykuł ten zdecydowałem się opublikować, aby w ten sposób przedstawić możliwości techniki holograficznej, w wykonaniu, które zostało przeze mnie wykorzystane do realizacji kamery do wizualizacji odcisków palców.

Staram się też dzięki tej publikacji znaleźć partnerów, których interesują naszkicowane tu możliwości. Będę wdzięczny za wszelkie uwagi.

Artykuł ten został po raz pierwszy opublikowany na stronie Internetowego Magazynu Badań Nieniszczących.

Wiesław Bicz

25.03.2003