

SONDA ULTRADŹWIEKOWA

Uwaga! Jest to tylko zarys teorii wymaganej w celu przeprowadzenia ćwiczenia. Materiał teoretyczny można odnaleźć w przytoczonej bibliografii.

Ultrasonografia jest dzisiaj jednym z ważniejszych narzędzi diagnostycznych w medycynie. Wykorzystywana jest ona zarówno do obrazowania narządów wewnętrznych pacjenta (prezentacje A i B, ta druga także w wersji 3D), jak i do analizy przepływu krwi w naczyniach (metody dopplerowskie). Informacja o stanie narządów wewnętrznych i przepływie krwi w naczyniach może być przy tym równolegle zbierana i prezentowana ekranie monitora („Doppler kolorowy”).

Obrazowanie anatomii pacjenta oparte jest na metodzie echolokacji impulsowej. Głowica USG wysyła bardzo krótki impuls ultradźwiękowy, który przenika do tkanek i ulega tam odbiciom, wytwarzając echa. Echa te wracają następnie do głowicy, w międzyczasie przestawionej z trybu nadawczego na tryb odbiorczy. Jeśli echo dotarło do głowicy po czasie t , licząc od momentu wysłania impulsu, to odległość pomiędzy głowicą a strukturą anatomiczną odbijającą wiązkę ultradźwięków S , wyrażona jest prostym równaniem:

$$S = \frac{vt}{2} \quad (1)$$

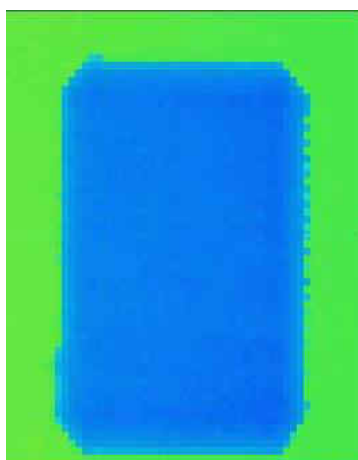
gdzie v jest średnią prędkością ultradźwięku w tkankach. Przypomnijmy, że o czasie t mówi się jako o „czasie powrotu”, co może być nieco mylące, gdyż chodzi tu oczywiście o czas przebiegu sygnału ultradźwiękowego „tam i z powrotem”. Kolejną rejestrowaną przez aparat USG wielkością fizyczną, oprócz czasu powrotu, jest natężenie echa, dostarczające informacji na temat różnic w oporze akustycznym pomiędzy ośrodkami, na granicy których nastąpiło odbicie.

W ćwiczeniu wykorzystujemy sondę (głowicę) ultradźwiękową do wizualizacji nieznaną (niewidoczną dla wykonującego ćwiczenie) struktury przestrzennej. Uformowana jest ona przez trzy prostopadłościany, przy czym mogą być one ułożone jeden na drugim. Wizualizacja polega na wyznaczeniu metodą echolokacji impulsowej położenia tych prostopadłościanów w przeszukiwanym obszarze oraz ich rozmiarów. Określenie z góry geometrii oraz wewnętrznej struktury elementów badanego układu (tzn. przyjęcie, że są to jednorodne prostopadłościany) jest konieczne, gdyż w odróżnieniu od rzeczywistego badania USG, w ćwiczeniu pojedyncza wiązka ultradźwiękowa odbija się tylko raz (wytwarza tylko jedno echo). Przyczyną tego ograniczenia jest fakt, że pomiędzy głowicą a badanym układem znajduje się powietrze, zaś na granicy powietrze-ciało stałe dochodzi do praktycznie całkowitego odbicia ultradźwięków. Tym samym, ultradźwięki nie mogą wnikać do wnętrza prostopadłościanów i wytworzyć żadnego innego echa¹.

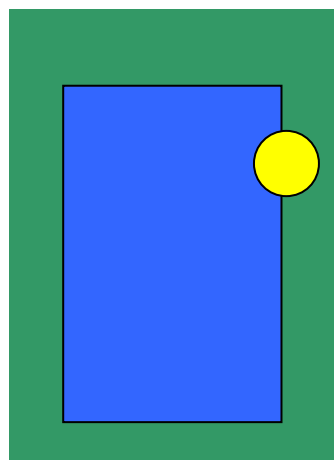
W ćwiczeniu, podobnie jak ma to miejsce w diagnostycznym badaniu USG, przyjmować będziemy, że odbicie zachodzi w osi wiązki.

¹ Możemy więc poglądowo powiedzieć, że wiązka ultradźwiękowa „widzi” tylko tę powierzchnię prostopadłościanu, która leży najbliżej sondy (ewentualnie, o ile nie natrafiła na żaden z prostopadłościanów, podłoże skrzyni, w której znajduje się badany układ).

W metodach wykorzystujących ultradźwięki do przestrzennej lokalizacji elementów badanej struktury, także podczas badania w gabinecie USG, praktycznie zawsze mamy do czynienia z artefaktami obrazu. Tak jest i w niniejszym ćwiczeniu. Na Ryc. 1 widzimy ultradźwiękowy obraz górnej powierzchni umieszczonego w skrzyni prostopadłościanu, otrzymany metodą echolokacji impulsowej.

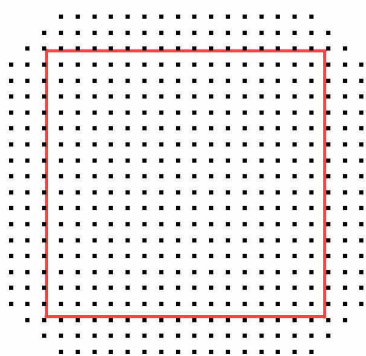


Ryc. 1



Ryc. 2

Wiązki ultradźwiękowe użyte podczas skanowania były prostopadłe do podłoża skrzyni. Czas powrotu echa przedstawiony jest na rycinie, dla każdego z zastosowanych położenia głowicy, przy pomocy kolorowej skali - dłuższy czas powrotu (kolor zielony) odpowiada podłożu skrzyni, natomiast czas krótszy (kolor niebieski) górnej powierzchni prostopadłościanu. Jak łatwo zauważyć, wierzchołki obrazu prostopadłościanu są 'ścięte'. Przyczyną tego artefaktu, określanego w literaturze anglojęzycznej jako *beam width artifact*, jest niezerowa szerokość wiązki ultradźwiękowej² (Ryc. 2). Kiedy wiązka, której przekrój poprzeczny jest zaznaczony kolorem żółtym, „wycelowana” jest w podłoże skrzyni, ale przechodzi jednocześnie dostatecznie blisko prostopadłościanu, to część tej wiązki odbija się od górnej powierzchni bryły. Jeśli tylko natężenie tak powstałego echa nie jest zbyt małe, głowica ultradźwiękowa zarejestruje sygnał echa. Ponieważ głowica używana w ćwiczeniu rejestruje w każdym ze swych położenia tylko pierwsze echo, przylegający do bryły fragment podłoża skrzyni zostanie mylnie przedstawiony na obrazie jako element górnej powierzchni prostopadłościanu.



Ryc. 3 przedstawia wynik komputerowej symulacji artefaktu, otrzymany przy założeniu, że szerokość wiązki jest istotnie większa niż odległość między sąsiednimi położeniami pomiarowymi głowicy (co odpowiada sytuacji podczas wykonywania ćwiczenia). Czarne kwadraciki oznaczają miejsca rozpoznane jako należące do górnej powierzchni prostopadłościanu, natomiast rzeczywisty kontur tej powierzchni przedstawiony jest linią czerwoną. Jak widzimy, artefakt powoduje zarówno pozorne **zwiększenie rozmiarów liniowych** ściany prostopadłościanu, jak też, co mniej intuicyjne, efekt „pozornego ścięcia wierzchołków”, widoczny na Ryc. 1.

Artefakt wystąpi *na pewno* podczas wykonywania ćwiczenia, a znajomość jego natury pozwoli nam zwiększyć dokładność pomiarów.

² Na obrazie widać też „nadmiarowe” piksele brzegowe („ząbki”, których nie należy mylić ze „schodkami” przy wierzchołkach), występujące pojedynczo lub w małych grupach. Echa odpowiadające tym pikselom mają natężenia bardzo bliskie progowi czułości głowicy, lecz większe od tego progu. Istnienie „ząbków” jest więc niezależne od dyskutowanego artefaktu. Z drugiej strony, co wyjaśnimy niżej, artefakt powoduje ich pozorne przesunięcie.

Układ pomiarowy

Układ pomiarowy tworzą:

- *Układ skanujący z ultradźwiękową głowicą nadawczo-odbiorczą oraz zasilaczem.* Głowica wysyła ultradźwięki o częstotliwości 380 kHz i następnie, w trybie odbioru, rejestruje jedno echo. Sygnał napięciowy, generowany przez echo, informuje o czasie powrotu. Ruch głowicy, umożliwiający przeszukiwanie całego badanego obszaru (skrzynka pod głowicą), zapewniają silniki krokowe sterowane przez komputer. Przełączniki krańcowe, znajdujące się na początku i końcu obu prowadnic, zapewniają, że głowica nie przekracza założonego obszaru badań.
- *Karta pomiarowa (NI USB 6008) – rejestruje czas powrotu echa w postaci napięciowego sygnału analogowego i przetwarza go do postaci cyfrowej. W tej też postaci czas powrotu echa przekazywany jest do komputera.*
- *Komputer wraz z programami sterującymi urządzeniem i prezentującymi wyniki pomiarów.*

Wymagane wiadomości teoretyczne

1. Ultradźwięk jako fala mechaniczna. Długość, częstotliwość i prędkość rozchodzenia się fali ultradźwiękowej.
2. Echolokacja impulsowa jako metoda umożliwiająca lokalizację przestrzenną elementów anatomicznych w obrazowaniu ultrasonograficznym. Osiowa zdolność rozdzielcza i jej zależność od częstotliwości ultradźwięku.
3. Ultrasonograficzne prezentacje A i B.
4. Artefakty obrazu USG.

Literatura

1. S. Mięksisz i A. Hendrich, „Zastosowanie ultradźwięków w medycynie, w: Wybrane zagadnienia z biofizyki”, Volumed, 1998.
2. E. Merz, „Diagnostyka ultrasonograficzna w ginekologii i położnictwie”, Urban&Partner, 1999, (roz. 2).