

Wojciech GELMUDA
Andrzej KOS

MOŻLIWOŚCI DETEKCYJNE PIEZOELEKTRYCZNYCH CZUJNIKÓW ULTRADŹWIĘKOWYCH 40STR-XX W POWIETRZU

STRESZCZENIE *Niniejszy artykuł przedstawia wyniki pomiarów możliwości detekcyjnych piezoelektrycznych czujników ultradźwiękowych typu 40STR-XX w powietrzu. Podczas badań skupiono się na wpływie odległości od przeszkody, wielkości powierzchni od której odbija się fala akustyczna oraz kącie odchylenia tej powierzchni od płaszczyzny w której znajdują się czujniki ultradźwiękowe. Otrzymane wyniki pozwalają na ocenę przydatności takich czujników w systemach mierzących odległość od obiektów.*

Słowa kluczowe: *ultradźwięki, czujniki piezoelektryczne, mierniki odległości, radary, możliwości detekcyjne*

1. WSTĘP

W wielu ośrodkach badawczych pracuje się nad stworzeniem nowych oraz udoskonaleniem istniejących systemów pozwalających na przekazanie jak najwięcej informacji o środowisku do urządzeń, które w tym środowisku pracują.

mgr inż. Wojciech GELMUDA, prof. dr hab. inż. Andrzej KOS
e-mail: gelmuda@agh.edu.pl, kos@agh.edu.pl

Katedra Elektroniki,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 246, 2010

Począwszy od prostych czujników parkowania w samochodach, poprzez odczyty temperatury w piecach grzewczych, na skomplikowanym przetwarzaniu obrazów z kamer kończąc. Wszystkie te przykłady zapewniają pewnego rodzaju obserwację oraz komunikację urządzeń z otoczeniem. Są to próby stworzenia narządów zmysłów, za pomocą których elektronika urządzeń byłaby w stanie postrzegać środowisko, na podobieństwo zmysłów ludzkich. Jednak zarówno zmysły ludzkie, jak i wszelkiego rodzaju czujniki mają ograniczenia. Tak jak oko ludzkie nie jest w stanie zaobserwować mikroskopijnych pojedynczych bakterii bez użycia przyrządów powiększających, tak nie wszystkie czujniki są w stanie zapewnić nam detekcji zbyt małych obiektów czy stężeń cieczy lub gazów.

W dzisiejszych czasach większość urządzeń i procesów zostaje poddawana automatyzacji w celu poprawienia jakości życia ludzi oraz zminimalizowaniu wkładu pracy jaką człowiek musi włożyć w pewnego rodzaju czynności. Nie dotyczy się to tylko automatyzacji linii produkcyjnych w fabrykach, ale również podstawowych przedmiotów i urządzeń życia codziennego. Budowane są inteligentne domy, automatyka samochodowa przekazuje nam informacje potrzebne do prawidłowego zaparkowania auta lub nawet sama jest w stanie zaparkować samochód, tworzone są roboty rozmawiające z ludźmi, reagujące na konkretne zachowania człowieka, jego mimikę twarzy. Takie przykłady można mnożyć. Jednak to wszystko nie mogłoby prawidłowo funkcjonować, gdyby nie czujniki przekazujące informacje o otoczeniu.

Istotną wiadomością z otoczenia systemu jest odległość od poszczególnych obiektów, kluczowych dla działania oraz funkcjonalności tego systemu. Istnieje kilka sposobów pomiaru odległości. Można ją zmierzyć np. za pomocą czasu propagacji fali świetlnej (czujniki na podczerwień, lasery) [4] lub za pomocą czasu w którym fala dźwiękowa powraca, odbita od obiektu [2].

Metoda pomiaru ultradźwiękami stanowi bardzo dobrą metodę pomiaru odległości, zarówno dużych (np. radary) jak i małych (np. odległość od przeszkody podczas parkowania samochodem lub utworzenie topologii pomieszczenia w którym znajduje się robot mobilny). Jednak, jak każda, ma swoje wady i zalety.

Niniejsza praca opisuje możliwości detekcyjne dostępnych piezoelektrycznych czujników ultradźwiękowych powszechnie stosowanych przy pomiarach małych odległości od przeszkód [2], jak również rozpoznawaniu kształtów obiektów [6].

2. CEL PRACY

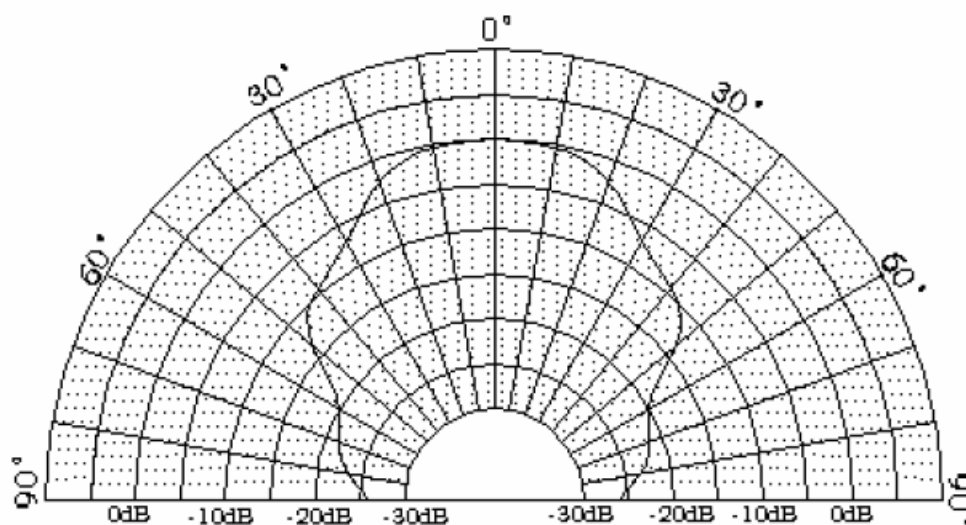
Na powodzenie detekcji powracającej fali ultradźwiękowej odbitej od obiektu składa się kilka czynników, zarówno cech samego obiektu jak i praw

fizyki, które rządzą zjawiskiem rozchodzenia się fal dźwiękowych w ośrodku [5, 7]. Do cech samego obiektu, które znacząco wpływają na detekcję odbitej od niego fali ultradźwiękowej możemy zaliczyć wielkość powierzchni odbijającej, kąt pod jakim jest nachylona, jej kształt, materiał z jakiego jest wykonana itp. Dodatkowo, bardzo istotnym czynnikiem jest tłumienie fali w ośrodku, czyli duży wpływ ma odległość obiektu od czujników ultradźwiękowych. Absorpcja części energii fali przy odbiciu, interferencja fali padającej i odbitej oraz zakłócenia spowodowane nakładaniem się fal odbitych od innych obiektów również mają znaczenie.

W tej pracy skupiono się na przeanalizowaniu wpływu wielkości powierzchni odbijającej, jej kąta nachylenia oraz odległości pomiędzy tą powierzchnią a źródłem fali ultradźwiękowej na detekcję odbitej fali ultradźwiękowej za pomocą czujników.

W celu pokazania samego tylko wpływu tych czynników na możliwości detekcyjne czujników, niezależnie od różnorodności stosowanych wzmacniaczy, wartości napięcia sygnału uzyskanego z czujników zostały znormalizowane.

Podczas wyboru rodzaju czujników do przedstawienia możliwości pomiaru małych odległości za pomocą ultradźwięków kierowano się ich kierunkowością, dostępnością na rynku, ceną oraz łatwością uruchomienia. Wybór padł na piezoelektryczne czujniki ultradźwiękowe. Są one stosowane w niskobudżetowych aplikacjach oraz są ogólnodostępne zarówno w postaci pojedynczych sztuk w kilku rozmiarach i rodzajach, jak również jako moduły uruchomieniowe w postaci ultradźwiękowych mierników. Charakterystyka kierunkowości nadajnika została przedstawiona na rysunku 1 [8].

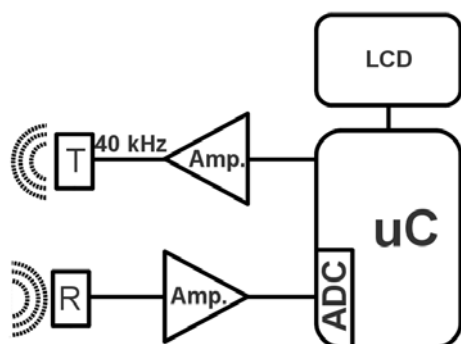


Rys. 1. Charakterystyka kierunkowości piezoelektrycznego nadajnika ultradźwiękowego [8]

3. SPRZĘT TESTOWY I ALGORYTM DETEKCJI

Do testów zastosowano czujniki ultradźwiękowe 40STR-16 [8]. Są to czujniki dostosowane do pracy przy częstotliwości 40 kHz. Schemat blokowy układu testowego został przedstawiony na rysunku 2.

Sygnał o częstotliwości 40 kHz podawany jest z mikrokontrolera poprzez wzmacniacz na nadajnik ultradźwiękowy. Wysyłana jest paczka dziesięciu okresów fali 40 kHz. Następnie powracająca fala odbita jest przetwarzana na sygnał elektryczny w odbiorniku. Pomiar odległości dokonywany jest poprzez pomiar czasu od nadania do odbioru fali ultradźwiękowej. Dla zminimalizowania wpływu interferencji, w pobliżu toru pomiędzy czujnikami a badanym obiektem nie znajdowały się inne przeszkody. Dodatkowo, wartość sygnału badana była tylko w tej chwili czasowej, która odpowiada odległości w jakiej znajduje się obiekt, a każdy kolejny pomiar dokonywany był z pewnym opóźnieniem, dzięki czemu mieliśmy pewność, że fale odbite od innych obiektów wytlumią się całkowicie. Otrzymany sygnał po wzmocnieniu trafiał na przetwornik analogowo-cyfrowy. Największa wartość przetwarzania brana była jako wartość natężenia fali powracającej i pokazywana na wyświetlaczu LCD. Początkowo, zamiast stosowania przetwornika analogowo-cyfrowego wykorzystywany był komparator sygnału z obu nóżek czujnika ultradźwiękowego.



Rys. 2. Schemat blokowy układu testowego

Jednak nie pozwalało to na pokazanie stopniowego zmniejszania się amplitudy ze zmianą odległości związaną z tłumieniem fal akustycznych przez ośrodki.

Wszystkie pomiary zostały znormalizowane do największej otrzymanej wartości odpowiadającej pomiarowi z użyciem największej powierzchni leżącej w płaszczyźnie czujników, z najbliższej odległości.

4. POMIARY

Obiekty pomiarowe zostały wykonane z gładkiej blachy w postaci kwadratów o różnych rozmiarach oraz zawieszono na wysokości pozwalającej na wyeliminowanie wpływu fal odbitych od podłoża na przebieg testów. Zawieszenie obiektów również nie było źródłem odbicia fal.

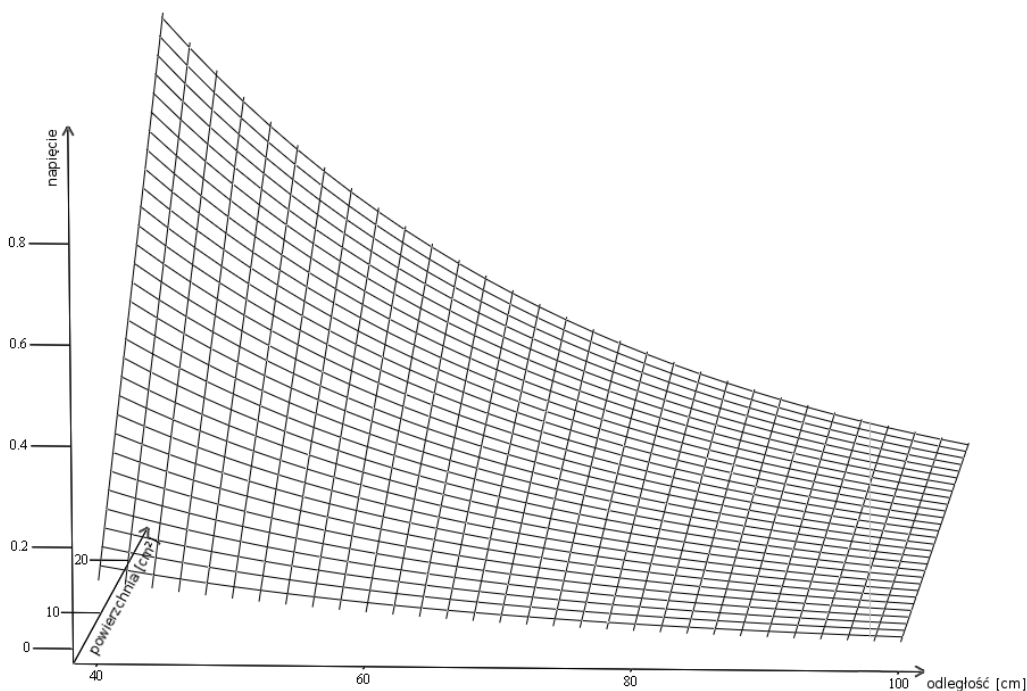
Fala ultradźwiękowa propagując w ośrodku jakim jest powietrze, a dokładniej jej amplituda drgań oraz natężenie, ulegają zanikowi. Wzór określający analitycznie zjawisko zaniku natężenia jest następujący [5]:

$$I = I_0 e^{-\gamma \cdot x} \quad (1)$$

gdzie:

- I_0 – początkowa wartość natężenia fali dla $x = 0$,
- γ – współczynnik tłumienia,
- x – odległość.

Ponadto, podczas odbicia fali akustycznej od obiektu część energii fali zostaje pochłonięta i rozproszona. W przypadku zastosowania gładkiej, twardej



Rys. 3. Charakterystyka napięcia detekcji fali ultradźwiękowej w zależności od odległości od obiektu odbijającego falę oraz od jego powierzchni odbijającej

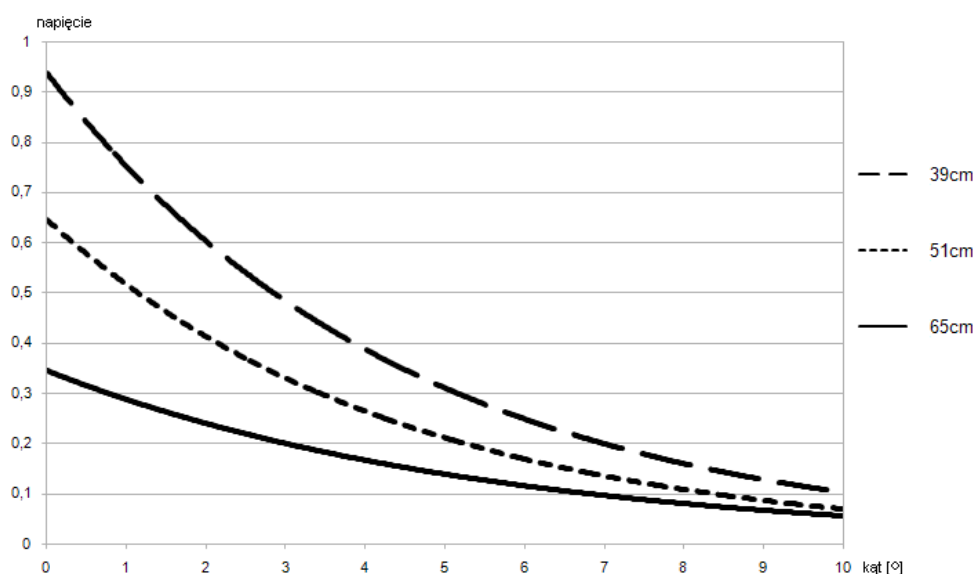
powierzchni zjawisko to zostaje zmniejszone i nie występuje w tak dużym stopniu jak tłumienie w ośrodku. Zatem charakterystyka zależności amplitudy odbieranego sygnału od odległości będzie wykładnicza. Dodatkowo, będzie liniowo zależeć od pola powierzchni obiektu odbijającego fale.

4.1. Pomiar wpływu odległości od obiektu oraz pola jego powierzchni na detekcję fali odbitej

Pomiary przeprowadzono dla kilku wielkości powierzchni kwadratowych obiektów leżących w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny czujników, stopniowo oddalając obiekty od źródła fali ultradźwiękowej. Następnie wyniki aproksymowano oraz znormalizowano i zostały one przedstawione na rysunku 3.

4.2. Pomiar wpływu kąta odchylenia powierzchni obiektu na detekcję fali odbitej

Kolejnym krokiem było zbadanie wrażliwości czujników na detekcję ultradźwiękowej fali odbitej od powierzchni, która odchylona jest od powierzchni równoległej do powierzchni czujników. Do testów użyto kwadratowej powierzchni o polu 25 cm^2 . Obiekt ten odchyłano o małe kąty i dokonywano pomiarów dla kilku odległości od czujników. Następnie wyniki aproksymowano oraz znormalizowano i zostały one przedstawione na rysunku 4.



Rys. 4. Charakterystyka napięcia detekcji fali ultradźwiękowej w zależności od kąta odchylenia powierzchni odbijającej oraz od odległości pomiędzy powierzchnią a czujnikami

5. PODSUMOWANIE

Przedstawione testy piezoelektrycznego czujnika ultradźwiękowego pokazały bardzo istotny wpływ zarówno samych cech obiektu, który chcemy wykryć, jak i praw fizyki rządzących propagacją fal ultradźwiękowych na możliwości detekcyjne samego czujnika.

Wykładnicze tłumienie natężenia fali w ośrodku jest może mniej znaczące dla zastosowań detekcyjnych na małe odległości, jednak staje się kluczowym przy zwiększaniu odległości od obiektu. Wówczas pozostaje nam stosowanie nadajników o większej mocy lub odbiorników o lepszej zdolności detekcyjnej. Dodatkowo możemy wykorzystać odpowiednie filtry i wzmacniacze sygnału w torze odbiorczym.

Natężenie powracającej fali ultradźwiękowej możemy liniowo aproksymować w funkcji pola powierzchni obiektu, który falę odbija. Testy pokazały, że nawet objekty o małych powierzchniach mogą być wykryte przy założeniu, że odległość od nich jest niewielka.

Możliwość wykrycia obiektu za pomocą jednego nadajnika i jednego odbiornika ultradźwiękowego jest bardzo wrażliwa na kąt odchylenia powierzchni tego obiektu od płaszczyzny równoległej do powierzchni w której znajdują się nadajnik z odbiornikiem. Już dla małych kątów odchylenia natężenie fali wracającej do odbiornika jest znacząco mniejsze niż dla zerowego odchylenia, a dla kątów powyżej 15° detekcja jest prawie niemożliwa. Dodatkowo, materiał z którego zrobiona jest powierzchnia odbijająca ma istotne znaczenie. Może on bowiem prawie w całości absorbować falę akustyczną, odbić ją w określonym kierunku lub rozproszyć w różnych kierunkach. Złożenie tych czynności jest istotne przy wykrywaniu obiektów. Bardzo dużą uwagę przywiązuje się zarówno do materiału z jakiego zrobiony jest obiekt, jak i jego porowatości oraz do kątów nachylenia poszczególnych jego powierzchni podczas projektowania i budowy samolotów, które mają być trudne do wykrycia przez radary. Dodatkowo, dla lepszego działania radarów, pracuje się nad coraz to nowymi sposobami wysyłania i odbierania sygnału. Stosuje się komunikację międzyradarową, modulacje częstotliwościowe i czasowe oraz dostosowywanie rodzaju wysyłanego sygnału do aktualnych potrzeb i warunków [1]. W celu ulepszenia działania radarów bada się zachowania nietoperzy, które posługują się ultradźwiękami podczas przemieszczania się oraz polowania. Badania pokazały, że nietoperze zmieniają nadawany sygnał w zależności od sytuacji w jakiej się znajdują oraz podczas różnych etapów polowania [3].

Istnieją również sposoby na zmniejszenie wpływu kątów odchylenia powierzchni obiektu na jego detekcję poprzez użycie kilku nadajników i kilku odbiorników odpowiednio względem siebie ułożonych oraz zastosowaniu układów FPGA [2].

LITERATURA

1. Calderbank R., Howard S., Moran B., „Waveform Diversity in Radar Signal Processing”, IEEE Signal Processing Magazine, str. 32-41, styczeń 2009.
2. Hernandez A., Urena J., Garcia J., Mazo M., Hernanz D., Derutin J., Serot J., „Ultrasonic Ranging Sensor using Simultaneous Emissions from Different Transducers”, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 51, no. 12, 2004.
3. Hurtado M., Nehorai A., „Bat-Inspired Adaptive Design of Waveform and Trajectory for Radar”, 42nd Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 2008.
4. Innet S., Ritnook N., „An Application of Infrared Sensors for Electronic White Stick”, International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS2008), Swissôtel Le Concorde, Bangkok, Thailand, 2008.
5. Ochocki M., „Fale akustyczne”, Ruda Śląska, 2003.
6. Ohtani K., Baba M., „Shape Recognition for Transparent Objects Using Ultrasonic Sensor Array”, SICE Annual Conference 2007, Kagawa University, Japan, 2007.
7. Resnick R., Halliday D., Walker J., „Podstawy Fizyki 2”, ISBN-13:978-83-01-14107-3, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006.
8. Sunny Electronics Technology Co., LTD, „Piezo-ceramic ultrasonic sensor (general) – 40STR12”, datasheet, <http://www.china-sunny.com>

Rękopis dostarczono dnia 11.05.2010 r.

Opiniował: dr hab. inż. Tadeusz Gudra

PIEZOELECTRIC ULTRASONIC SENSORS DETECTION CAPABILITIES

Wojciech GELMUDA, Andrzej KOS

ABSTRACT

The following paper presents piezoelectric sensors' test results, which show their capability to detect ultrasounds. The main goal was to show an influence of a distance from an object to sensors, the size of an object's surface which reflects an acoustic wave and an angle between the above-mentioned surface and a surface containing an ultrasound transmitter and receiver on a received reflected ultrasonic wave. The obtained results allow us to determine whether an employment of piezoelectric ultrasound sensors is useful in particular distance measurement devices and systems.

Mgr inż. Wojciech GELMUDA – absolwent Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Praca dyplomowa obejmowała temat „Termometr zaokienny dla niewidomych”. Obecnie uczestnik studiów doktoranckich na tym samym Wydziale.



Prof. dr hab. inż. Andrzej KOS – profesor zwyczajny, otrzymał stopień doktora nauk technicznych w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w 1983 r. Habilitował się w Politechnice Łódzkiej w 1994 r. Tytuł naukowy profesora nauk technicznych otrzymał w 2001 r. Od 1995 r. Jest kierownikiem Zespołu Systemów Mikroelektronicznych i Nanoelektronicznych w Akademii Górniczo-Hutniczej. Obszar zainteresowań naukowych obejmuje techniki i technologie informacyjne, mikro i nanosystemy – projektowanie, wytwarzanie i testowanie. Prof. A. Kos jest członkiem z wyboru Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji Polskiej Akademii Nauk, wielu komitetów naukowych w kraju i za granicą, a także ekspertem Komisji Europejskiej. Jest członkiem Interdyscyplinarnego Zespołu ds. Współpracy z Zagranicą Rady Nauki. Opublikował dwie monografie, w tym jedną w Wielkiej Brytanii. Jest autorem łącznie stu dziewięćdziesięciu rozpraw naukowych opublikowanych w czasopismach i materiałach konferencji o cyrkulacji ogólnoświatowej oraz patentów.

