

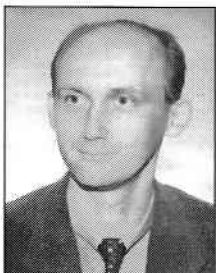
Jarosław MAJCHRZAK, Grzegorz WICZYŃSKI

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Pomiar odległości liniowej czujnikiem ultradźwiękowym systemu sensorycznego robota mobilnego

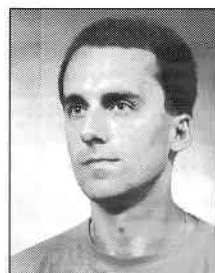
Mgr inż. Jarosław MAJCHRZAK

absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej, obecnie pracownik Katedry Automatyki, Robotyki i Informatyki Politechniki Poznańskiej. Jego zainteresowania to wykorzystanie sensoryki w robotyce mobilnej, tworzenie modeli otoczenia na podstawie danych z systemów sensorycznych dla potrzeb sterowania robotami mobilnymi oraz badanie jakości informacji sensorycznej uzyskanej z pomiarów rzeczywistych.



Dr inż. Grzegorz WICZYŃSKI

absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej, obecnie pracownik Instytutu Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej. Jego zainteresowania to miernictwo wielkości elektrycznych i nieelektrycznych z wykorzystaniem skupionych i rozproszonych systemów pomiarowych, w szczególności miernictwo optoelektryczne i badania dotyczące jakości energii elektrycznej oraz przetwarzanie sygnałów ukierunkowane na wykorzystanie w układach sterowania.



Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań czujnika ultradźwiękowego wykorzystywanego w systemach sensorycznych robotów mobilnych. Opisane badania przeprowadzono w zamkniętym pomieszczeniu dla wiązki ultradźwiękowej prostopadle padającej na płaszczyznę odbijającą. Na podstawie analizy wyników pomiarów wybrano najlepszy estymator wartości rzeczywistej mierzonej odległości. Zamieszczono porównanie błędów pomiaru odległości dla przykładowych estymatorów. Jako miary wiarygodności pomiarów przyjęto błędy względne i bezwzględne pomiarów oraz prawdopodobieństwo wykonania pomiaru z zadanym błędem względnym.

Słowa kluczowe: czujnik ultradźwiękowy, pomiar odległości, błąd pomiaru, robot mobilny.

Abstract

This paper presents the results of the research conducted on ultrasonic transducer for mobile robots. The research has been conducted indoors for ultrasonic wave falling perpendicularly to the deflecting surface. The analysis of the measurement results enabled the selection of the best real value estimator for distance measurement. The comparison of distance measurement errors for different estimators was described. To estimate the measurement reliability relative and absolute errors as well as probability of the measurement execution with given relative error are presented.

Key Words: ultrasonic sensor, distance measurement, measurement error, mobile robot

Wstęp

Podczas realizacji zadania ruchu pokładowy układ sterowania robota mobilnego zbiera informacje o szczegółach otoczenia, w którym robot ma realizować zadanie. Pomiaru odległości od elementów otoczenia (przeszkód) zarejestrowane przez system sensoryczny, dostarczają układowi sterowania robota danych o ograniczeniach dla jego ruchu. Dane mogą pochodzić z różnych sensorów, wymagają odpowiedniej analizy i przetworzenia przed ich wykorzystaniem w procesie sterowania [1÷4]. Użycie ultradźwiękowego sensora do określenia odległości robota od przeszkody wymaga określenia jego cech użytkowych, m.in.: kąta widzenia sensora, zasięgu pomiarowego oraz wiarygodności realizowanych przez niego pomiarów. Obszar widzenia badanego sensora ultradźwiękowego można określić jako stożek ścięty wyznaczony przez kąt rozwarcia wiązki pomiarowej ukształtowanej przez producenta sensora. Pole widzenia robota ogranicza się do obszaru, który znajduje się w zasięgu pierwotnego źródła fali ultradźwiękowej, wyemitowanego przez czujnik.

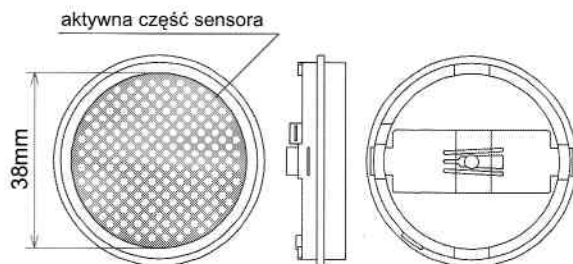
Zwiększenie zdolności percepcyjnych robota możliwe jest przez zabudowanie zestawu czujników ultradźwiękowych w sposób zapewniający dookólne widzenie [4]. Takie usytuowa-

nie umożliwiają niemal jednoczesny pomiar odległości we wszystkich kierunkach, z rozdzielczością kątową wynikającą z kształtu wiązki pomiarowej każdego czujnika.

W artykule opisano wyniki pomiarów sensora ultradźwiękowego typu 600 firmy Polaroid [5, 6] badanego w stanach ustalonych i dla fali ultradźwiękowej padającej prostopadle na przeszkodę.

Charakterystyka czujnika ultradźwiękowego

Przedstawiony na rysunku 1 czujnik ultradźwiękowy jest elementem systemu sensorycznego robota mobilnego.



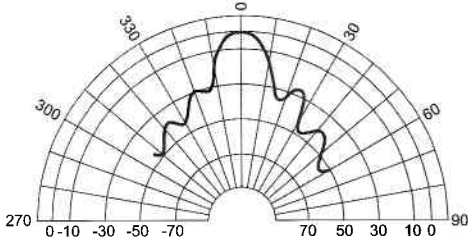
Rys. 1. Uproszczony widok czujnika ultradźwiękowego typu 600 firmy Polaroid

Czujnik współpracuje ze sterownikiem pokładowym. W celu odwzorowania otoczenia robota zabudowano 24 czujniki ultradźwiękowe rozmieszczone co 15°. Omawiany czujnik przeznaczony jest do pracy w powietrzu i generuje falę akustyczną o częstotliwości ok. 50 kHz. Wiązka pomiarowa ma kształt ściętego stożka o kącie rozwarcia ok. 12°(3dB). W znamionowym zakresie pomiarowym 0,15÷10,7m średnica stożka zmienia się od 38 mm (średnica części aktywnej sensora) do ok. 260 m.

Badany czujnik jest kondensatorem składającym się z dwóch okładzin: stałej - będącej częścią obudowy i kołowej membrany wykonanej ze złotej folii. Sprężysta membrana kołowa w trybie nadajnika emituje falę ultradźwiękową rozchodzącą się w określonym kierunku, natomiast w trybie odbiornika spełnia rolę detektora fali odbitej.

Do podstawowych źródeł zakłóceń zaliczane są: nadajniki fal akustycznych o zbliżonej częstotliwości, wielokrotne echa

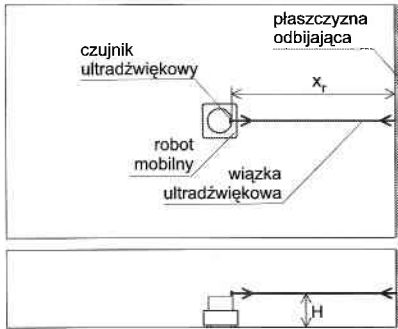
(odbicia) od obiektów, zjawisko opóźnionego echa dla obiektów o charakterystycznych kształtach. Czas pomiaru jednego sensora dla znamionowego zakresu pomiarowego wynosi ok. 72 ms. Czas pomiaru wydłużony jest o czas działania sprzętu, tzn. przełączanie sensora z trybu nadajnika do trybu odbiornika, w tym czas wygaszania drgań membrany, czas obróbki cyfrowej otrzymanego wyniku pomiaru. Względny błąd pomiaru podany przez producenta TRC Proximity Subsystem wynosi 2% [6]. Na rysunku 2 przedstawiono typowe charakterystyki czujników typu 600 firmy Polaroid [6].



Rys. 2. Typowe charakterystyki czujników ultradźwiękowych typu 600 czujnika

Wyniki pomiarów

Badanie czujników ultradźwiękowych przeprowadzono w zamkniętym (bezwietrznym), suchym pomieszczeniu, o gładkich ścianach, suficie i podłodze o rozmiarach A x B x C = 15 x 5,2 x 3,2 m. Parametry pomieszczenia umożliwiły testowanie całego zakresu pomiarowego czujnika. Badany czujnik umieszczono na ruchomej platformie na wysokości H = 92 cm (rys. 3).



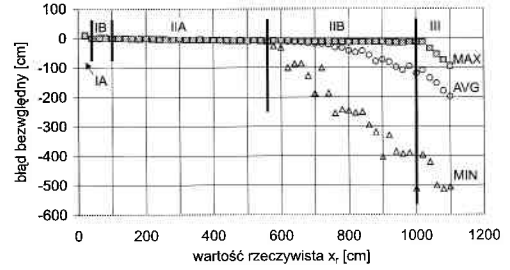
Rys. 3. Rozmieszczenie czujnika w przestrzeni

Założono następujące warunki pomiarów:

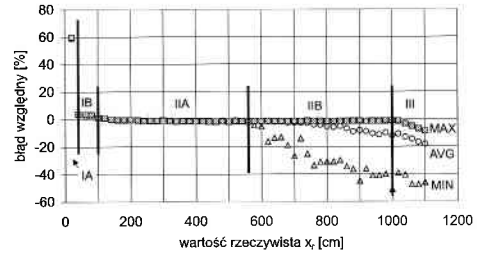
- 1) seria pomiarów wykonywana jest w stałych warunkach geometrycznych (otoczenie niezmiennie) przez jeden sensor,
- 2) elementem odbiciowym jest płaska ściana o powierzchni większej niż powierzchnia czoła fali (powierzchnia podstawy stożka tworzonego przez wiązkę pomiarową) dla wybranej odległości,
- 3) wybrany sensor usytuowany w sposób zapewniający prostopadłość wiązki ultradźwiękowej względem elementu odbiciowego (rys. 1),
- 4) pomiary w serii realizowane są jeden po drugim, bez wprowadzania dodatkowego interwału czasowego pomiędzy nimi,
- 5) liczbę pomiarów w serii ustalono na 100 prób.

Dla każdej zadanej wartości odległości czujnika od przeszkody x_r (zwanej dalej wartością rzeczywistą) wykonano serie pomiarów i wyznaczono następujące wielkości charakterystyczne: wartość maksymalną x_{MAX} , wartość minimalną x_{MIN} i średnią arytmetyczną x_{AVG} . W celu wyznaczenia najlepszego estymatora wartości rzeczywistej x_r spośród wyznaczonych wielkości charakterystycznych, na rysunkach 4 i 5 przedstawiono zależność

błędów względnych i bezwzględnych pomiaru odległości od wartości rzeczywistej x_r dla wybranych wielkości charakterystycznych.



Rys. 4. Błędy bezwzględne pomiaru odległości dla wybranych estymatorów



Rys. 5. Błędy względne pomiaru odległości dla wybranych estymatorów

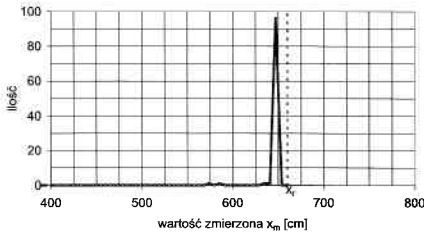
O wyborze estymatora decyduje porównanie wybranych wielkości w zakresie IIB. W tym zakresie występują znaczące różnice pomiędzy wartościami: minimalnymi, maksymalnymi i średnimi. Na podstawie zależności błędów: względnego i bezwzględnego, można stwierdzić, że najlepszym estymatorem wartości rzeczywistej x_r jest wartość maksymalna x_{MAX} . Dla tego estymatora można wyróżnić następujące zakresy:

- IA - zakres nieużyteczny, wpływ przełączania toru pomiarowego z trybu nadawania do trybu odbierania,
- IB - zakres użyteczny, wpływ przełączania toru pomiarowego z trybu nadawania do trybu odbierania,
- IIA - obszar użyteczny - podstawowy,
- IIB - obszar użyteczny - podstawowy dla wybranego estymatora x_{MAX} ,
- III - obszar nieużyteczny.

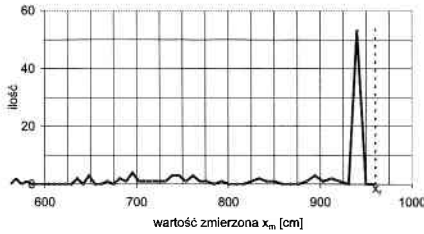
Wyznaczanie wartości x_{MAX} na podstawie tak licznej próby w praktycznych zastosowaniach jest uciążliwe. Dlatego istotne jest zbadanie rozkładu wartości zmierzonych x_m i porównanie z wartością x_{MAX} . Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono histogramy dla dwóch przykładowych wartości x_r w zakresie IIB.

Na podstawie histogramów (rysunki 6 i 7) można stwierdzić, że wartości zmierzone x_m zgrupowane są w pobliżu wartości dominującej x_D . Dlatego alternatywnym estymatorem wartości rzeczywistej x_r może być wartość dominująca x_D rozkładu x_m . Na rysunku 8 przedstawiono porównanie wartości błędów względnych pomiaru odległości w zakresie IIB dla dwóch estymatorów x_r : x_{MAX} i x_D .

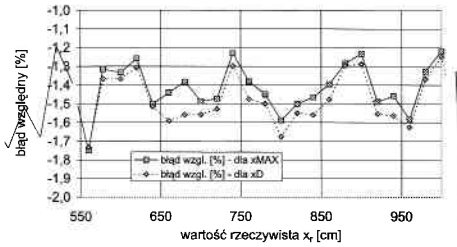
Zastosowanie x_D jako alternatywnego estymatora x_r powoduje wzrost wartości błędów względnych. Pomimo to, w przypadku wykonywania pomiarów w obecności czynników wpływających negatywnie na wiarygodność pomiarów (nie występujących w trakcie opisywanych badań), wybór alternatywnego estymatora może być uzasadniony. Estymacja wykorzystująca dominującą wartość odległości x_D jest mniej podatna na krótkotrwałe zakłócenia niż estymacja na podstawie wartości maksymalnej x_{MAX} .



Rys. 6. Rozkład wartości zmierzonych x_m dla $x_r = 660$ cm

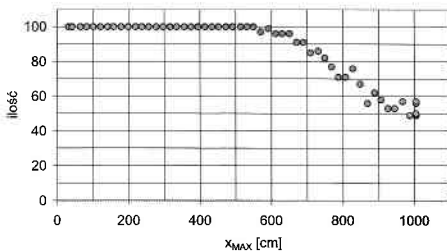


Rys. 7. Rozkład wartości zmierzonych x_m dla $x_r = 960$ cm



Rys. 8. Błędy względne pomiarów odległości w zakresie IIB dla dwóch estymatorów x_r : x_{MAX} i x_D

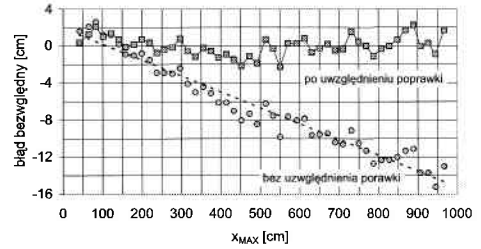
Istotne znaczenie dla wiarygodności pomiarów ma określenie niezbędnej liczebności próby. W tym celu konieczna jest znajomość prawdopodobieństwa wystąpienia wartości zmierzonej w przyjętym przedziale wartości. Na rysunku 9 przedstawiono ilość wyników pomiarów mieszczących się w przedziale $\langle 99\%, 100\% \rangle$ wartości x_{MAX} (dla 100-elementowej próby).



Rys. 9. Ilość wyników pomiarów w przedziale $\langle 99\%, 100\% \rangle$ wartości x_{MAX} (dla 100-elementowej próby)

Dla wartości x_{MAX} zbliżonych do górnego zakresu pomiarowego, w najmniej korzystnym przypadku 50 spośród 100 wyników pomiarów mieści się w przyjętym przedziale. Dla tak dużego prawdopodobieństwa uzasadnione jest praktyczne wykorzystanie wybranego estymatora. W zakresach IB i II możliwe jest wyznaczenie poprawki na podstawie wyznaczonej zależności pomiędzy błędem bezwzględnym i wartością x_{MAX} .

Dla badanego czujnika zależność błędów bezwzględnego pomiaru można aproksymować funkcją liniową. Po uwzględnieniu poprawki opisanej funkcją liniową uzyskano zmniejszenie wartości błędów bezwzględnych przedstawione na rysunku 10.



Rys. 10. Zależność błędów bezwzględnych pomiaru odległości dla wybranego estymatora x_r : x_{MAX}

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono występowanie rozrzutu wartości zmierzonej x_m odległości. Stwierdzono, że najlepszym estymatorem wartości rzeczywistej x_r jest wartość maksymalna x_{MAX} . Na podstawie rozkładów wartości x_m oceniono, że estymatorem wartości x_r może być także wartość dominująca rozkładu x_D . Pomimo że wybór tego estymatora skutkuje wzrostem wartości błędów, może być uzasadniony w przypadku występowania innych czynników wpływających (zakłócających) nie wykrywalnych w przeprowadzonych badaniach. Uwzględniając wyznaczoną poprawkę uzyskano zmniejszenie wartości błędów pomiaru. Do analizy właściwości czujników ultradźwiękowych wykorzystano liczną serię pomiarów. Wnioski wynikające z tej analizy pozwalają na określenie minimalnej liczby pomiarów realizowanych w niezmiennych warunkach przy zachowaniu wymaganej wiarygodności.

Zamieszczone wyniki badań umożliwiają doskonalenie algorytmów przetwarzania danych otrzymywanych z układów sensorycznych robotów mobilnych. Zastosowanie zaproponowanych estymatorów np. w nawigacji reaktywnej (odruchowej) robota mobilnego, wykorzystującej odległości zmierzone przez czujniki ultradźwiękowe [2], umożliwiła zwiększenie dokładności pomiarów. Ocena wiarygodności odwzorowania otoczenia robota wymaga oszacowania i uwzględnienia błędów pomiaru odległości. Tylko odpowiednio wiarygodne odwzorowanie otoczenia pozwala precyzyjnie sterować robotem w przypadku realizacji zadań inspekcyjnych wykorzystujących telemetrię. Także model otoczenia robota, np. w postaci mapy rastrowej [4], może być tworzony z wykorzystaniem dodatkowych informacji o położeniu przeszkód, co znacznie poprawia jakość tworzonego modelu otoczenia i pozwala minimalizować błędy odwzorowania rzeczywistych przeszkód w modelu.

LITERATURA

- [1] J. MAJCHRZAK, P. SKRZYPCZYŃSKI, G. WICZYŃSKI: Aktywne sensory robotów mobilnych. WMR'97, Zakopane 1997.
- [2] J. MAJCHRZAK, P. SKRZYPCZYŃSKI: Autonomiczna nawigacja lokalna w systemie teleoperacji robota mobilnego. Mechatronika '97, W-wa 1997.
- [3] T. JEDWABNY, J. MAJCHRZAK, P. SKRZYPCZYŃSKI: Sensory robotów mobilnych i ich zastosowanie w budowie modelu otoczenia. s Pomiary Automatyka Kontrola 1997, nr 11.
- [4] J. MAJCHRZAK: Tworzenie modelu otoczenia robota mobilnego przy wykorzystaniu ultradźwiękowego systemu sensorycznego. V Krajowa Konferencja Robotyki, Wrocław 1996.
- [5] Dokumentacja techniczna Proximity Subsystem, TRC, version 4.6.G, Danbury, 1991.
- [6] Materiały techniczno-handlowe firmy Polaroid (<http://www.polaroid-oem.com/american/new/electtrans.htm>).