

Sławomir ZATOR

POLITECHNIKA OPOLSKA, INSTYTUT ELEKTROWNI I SYSTEMÓW POMIAROWYCH

Wpływ położenia detektorów na niepewność określania pozycji obiektu w systemach lokalnego pozycjonowania

Dr inż. Sławomir ZATOR



Adiunkt na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. Podstawowy obszar działalności naukowej obejmuje metrologię przemysłową, głównie wielkości energetycznych oraz diagnostykę eksploatacyjną urządzeń energetycznych. Autor dwóch monografii o wykorzystaniu metody korelacyjnej w pomiarach przepływów oraz o laserowych przepływomierzach dopplerowskich. Ponadto autor publikacji zakresu racjonalnego wykorzystania energii w energetyce komunalnej.

e-mail: s.zator@po.opole.pl

Streszczenie

W artykule zaproponowano sposób szacowania niepewności wyznaczania współrzędnych w układach lokalnego pozycjonowania obiektów w przestrzeni trójwymiarowej. Specyfika problemu związana jest z numerycznym rozwiązywaniem układu nieliniowych równań opisujących położenie punktu. Wykorzystując metodę Monte-Carlo wyznaczono przedziały niepewności dla przykładowych konfiguracji układów odbiorczych.

Słowa kluczowe: systemy lokalnego pozycjonowania, niepewność.

The influence of the sensors' position on the uncertainty of the position of object in the local positioning systems

Abstract

In this article was a method to estimating the uncertainty of coordinates in the Local Positioning System in three-dimensional space proposed. The specific of problem arise from numerical solving the array of non-linear equations describing the position of point. For example configurations of four receivers using the Monte-Carlo method was the uncertainty calculated. The obtain results of uncertainty estimation for the object position show on significant problem of correct choice receivers' position. How the calculations show oft recommended positions are not always optimal. That method can help to predict the results of the placement of receivers.

Keywords: local positioning system, uncertainty.

1. Wstęp

Remont powierzchni ogrzewalnych kotła, po procesie czyszczenia wewnętrznej powierzchni ekranów, rozpoczyna się diagnostyką grubości rur wymiennika. Pomiar grubości rur odbywa się przy użyciu grubościomierzy ultradźwiękowych. Pomiar grubości odbywają się na ustalonych poziomach każdej ze ścian kotła, określonych poprzez wysokość modułów stawianego rusztowania, dla wszystkich rur. Liczba pomiarów wynosi od kilkunastu do kilkudziesięciu tysięcy. Tradycyjnie wykonywane pomiary te są zapisywane ręcznie, wraz z kodem pozycji. Pomiary i wypracowanie decyzji remontowej trwają do tygodnia.

Usunięcie podstawowej niedogodności, jaką jest kojarzenie wyników pomiarów z ich pozycją, pozwalającą radykalnie skrócić czas decyzji remontowej, można uzyskać wykorzystując system lokalnego pozycjonowania LPS (ang. Local Positioning System) punktu pomiaru i grubościomierz sprzężone z systemem rejestrującym. Pozwala to na niemal natychmiastową obserwację stanu ekranu kotła, a w razie wątpliwości wykonanie pomiarów uzupełniających [1].

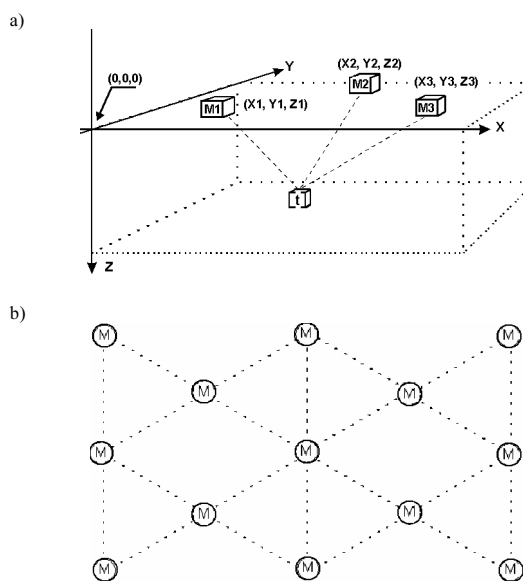
Systemy LPS mogą mieć zastosowania w wielu innych dziedzinach, np. monitorowania osób czy mienia w obiektach zamkniętych, czy też system nawigacji dla ludzi lub urządzeń autonomicznych wewnątrz obiektów.

2. Problem

Jednymi z najdokładniejszych współcześnie stosowanych układów pozwalających uzyskać niepewność na poziomie 1 mm są laserowe optyczne systemy geodezyjne, np. tachimetry śledzące, wykorzystujące pomiar czasu propagacji impulsu od źródła do reflektora i z powrotem. Zasięg tych urządzeń sięga kilkuset metrów. Warunkiem uzyskania pomiaru metodą optyczną jest konieczność "widzenia" celu, co nie dla wszystkich pozycji celu jest zapewnione.

Znane są również systemy radiowe wykorzystujące kuliste rozchodzenie się fal elektromagnetycznych oraz ich falową naturę. Obszary działania tych systemów to obszary od kilku do kilkunastu kilometrów kwadratowych. Niepewności określania pozycji wynosi od kilkunastu do kilkudziesięciu cm, dla każdej ze współrzędnych. Systemy radiowe poprawnie funkcjonują w terenie otwartym.

Ostatnia grupa systemów lokalnego pozycjonowania to systemy ultradźwiękowe. Są one przedmiotem opracowań w wielu ośrodkach naukowych. Wśród publikowanych wyników badań znaleźć można dwa typy systemów. Pierwszy system służy do śledzenia pozycji obiektów znajdujących się wewnątrz pomieszczeń [2]. Drugi typ systemów służy do orientowania się obiektu (człowieka, robota) w otoczeniu [3]. Moduł lokalizowany (nadawczy) wysyła krótki impuls, który dociera do układów odbiorczych z różnymi opóźnieniami, na podstawie których określane jest położenie obiektu wysyłającego sygnał akustyczny. Niepewność określania współrzędnych może być nawet poniżej 1 cm przy stosunkowo gęstym rozlokowaniu stacji bazowych (rys. 1) [2].



Rys. 1. Rozmieszczenie nadajnika i odbiorców w systemie Hexamite [2]
Fig. 1. Arrangement of transmitter and receiver in Hexamite system [2]

W opublikowanych informacjach o zbudowanych systemach zwykle niepewności pomiaru podawana jest dla ustalonych położenia detektorów ultradźwiękowych, a wyniki dotyczą warunków pomiaru zbliżonych do idealnych. Podawane są jedynie wyniki maksymalnej niepewności określania położenia jako promień sfery.

Często położenie nadajnika, które system LPS ma określać, ma określoną jedną ze współrzędnych. Wykorzystanie typowego rozmieszczenia nadajników w węzłach regularnej sieci nie zawsze jest możliwe, a dla niektórych położenia uzyskuje się znacznie

większe niepewności od oczekiwanych. Niepewność określania współrzędnych zmienia się kilkukrotnie.

Współrzędne poszukiwanego punktu x, y, z określone jest jednoznacznie w przypadku, gdy występują trzy układy odbiorcze (o współrzędnych x_i, y_i, z_i), co prowadzi do trzech równań (1) opisujących odległości.

$$d_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2, \quad (1)$$

gdzie: $i = 1, 2, 3$.

Uzyskuje się dwa położenia spełniające układ równań (1), leżące symetrycznie po obu stronach płaszczyzny wyznaczonej przez położenia odbiorników. W przypadku, gdy liczba detektorów n jest większa od trzech wykorzystuje się optymalizację nieliniową, definiując residuum (2) dla każdego i -tego detektora oraz błąd średni kwadratowy (3),

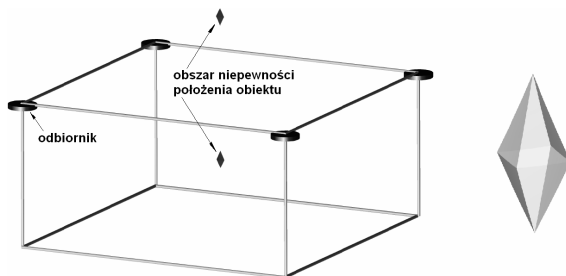
$$e(i) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} - d_i \quad (2)$$

gdzie $i = 1 \dots n$

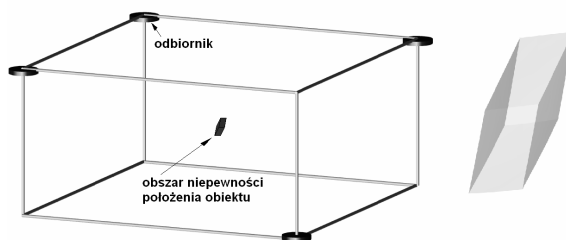
$$E = \sum_{i=1}^n e(i)^2, \quad (3)$$

którego minimum określa z największym prawdopodobieństwem poszukiwaną współrzędną x, y, z . Rozpoczęcie obliczeń metodą iteracyjną można rozpocząć dla położenia wyznaczonego na podstawie rozwiązania układu równań (1) wybierając dowolne trzy detektory z spośród n .

Na liczbę położeń i kształt obszaru niepewności istotny wpływ ma wybór położenia odbiorników, tak jak to pokazują rys. 2 i 3. Gdy odbiorniki znajdują się w jednej płaszczyźnie otrzymuje się również dwa rozwiązania (rys. 2). Gdy jeden z czujników znajduje się w innej płaszczyźnie niż pozostałe (rys. 3) występuje tylko jedno rozwiązanie.



Rys. 2. Położenie lokalizowanego obiektu dla czterech odbiorników w jednej płaszczyźnie oraz kształt obszaru niepewności granicznej
Fig. 2. The position of located object for four receiver sets in one plane and the shape of area of maximum uncertainty



Rys. 3. Położenie lokalizowanego obiektu dla czterech odbiorników w dwóch płaszczyznach oraz kształt obszaru niepewności granicznej
Fig. 3. The position of located object for four receiver sets in two plane and the shape of area of maximum uncertainty

Kształty obszarów wyznaczonych dla niepewności granicznej poszukiwanej współrzędnej, obliczone dla takiego samego poło-

żenia wyznaczonego z równań (2) i (3) i dla takiej samej niepewności wyznaczania odległości są różne. Uwidaczniają je powierzchnie widoczne na rys. 2 i 3.

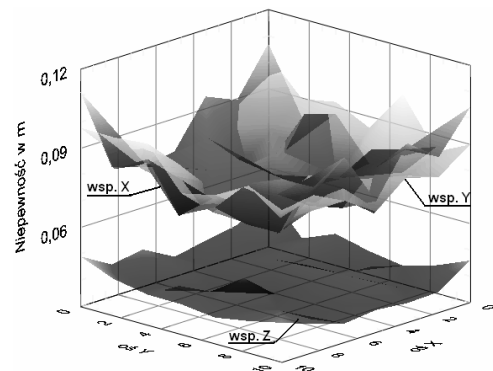
3. Szacowanie niepewności położenia

Do oszacowania niepewności położenia wykorzystano środowisko LabView, w którym obliczenia wykonano dla obszaru sześcienu o boku 10m. Przy szacowaniu niepewności uwzględniono multiplikatywne składniki związane z niepewności prędkości dźwięku i jej fluktuacją wynikającą z nieznanego rozkładu temperatury powietrza. Przyjęto niepewność graniczną wyznaczania prędkości dźwięku na poziomie 0,1% i niepewność rozkładu temperatury 2°C.

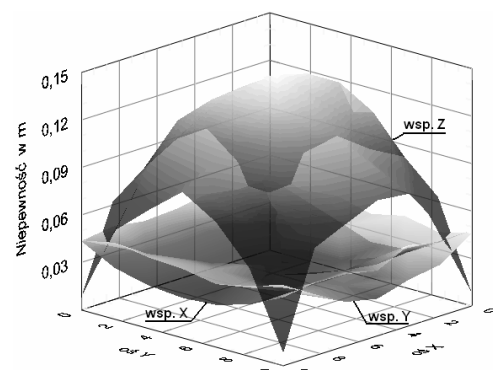
Składnik addytywny niepewności mierzonej odległości wynika z niepewności pomiaru czasu propagacji impulsu ultradźwiękowego. Do obliczeń przyjęto ją jako połowę okresu, dla częstotliwości $f = 40$ kHz.

Ze względu na to, że dla więcej niż 3 detektorów nie można sformułować bezpośrednio równania opisującego związek pomiędzy mierzonymi odległościami a poszukiwanym położeniem, oszacowano niepewność rozszerzoną zblizoną do granicznej (dla wsp. rozszerzenia $k = 3$) wyznaczania współrzędnych metodą Monte-Carlo [4] dla pojedynczego pomiaru

Na rys. 4 przedstawiono wyniki obliczeń wykonanych dla stałej wartości współrzędnej $Z = 1$ m, a na rys. 5 dla $Z = 9$ m. Wyniki obliczeń dotyczą położenia detektorów jak na rys. 2. W pierwszym przypadku niepewności wyznaczenia współrzędnych X oraz Y wahają się od 7 cm do 10 cm. Dla ustalonej współrzędnej $Z = 9$ m zmiany niepewności są z kolei dwukrotnie mniejsze, a maksymalna niepewność osiąga 4 cm w centralnym punkcie obszaru.



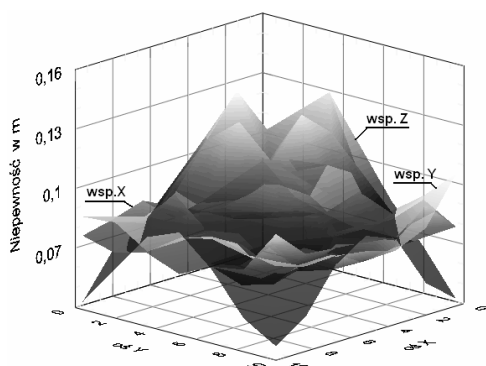
Rys. 4. Niepewność współrzędnych dla czterech odbiorników w jednej płaszczyźnie dla $Z = 1$ m
Fig. 4. The uncertainty of coordinates for four receiver sets in one plane for $Z = 1$ m



Rys. 5. Niepewność wyznaczania współrzędnych dla czterech odbiorników w jednej płaszczyźnie dla $Z = 9$ m
Fig. 5. The uncertainty of coordinates for four receiver sets in one plane for $Z = 9$ m

W drugim przypadku niepewności wyznaczenia współrzędnych X oraz Y wahają się od 2 cm do 4,5 cm, a najmniejsze wartości występują w centralnej części analizowanego obszaru.

Dla ustalonej współrzędnej $Z=9\text{ m}$ zmiany niepewności są bardziej dynamiczne i zmieniają się od 1 cm do 12 cm osiągane w centralnym punkcie obszaru. Dla porównania na rys. 6 przedstawiono maksymalne niepewności wyznaczania każdej ze współrzędnych (X, Y, Z), dla współrzędnej Z zmieniającej się od 1 m do 9 m. Maksymalna niepewność współrzędnej Z osiąga wartość 14 cm, natomiast współrzędnych X i Y około 10 cm.

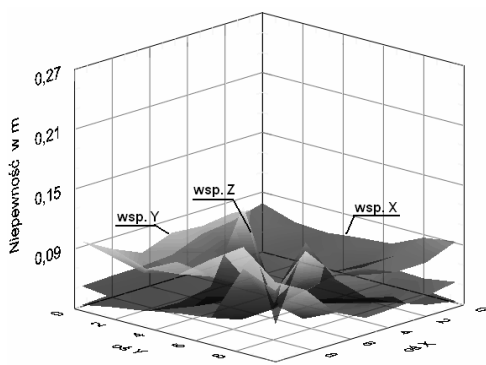


Rys. 6. Maksymalna niepewność współrzędnych dla czterech odbiorników w jednej płaszczyźnie

Fig. 6. The maximum uncertainty of co-ordinates for four receiver sets in one plane

Dla porównania wykonano obliczenia dla ułożenia detektorów jak na rys. 3. Rys. 7, 8 i 9 przedstawiają wyniki w analogicznych, wcześniej opisanych warunkach. Widoczna jest nie tylko różnica kształtów płaszczyzn przedstawiających niepewność wyznaczania poszczególnych współrzędnych, ale i różnice wartości.

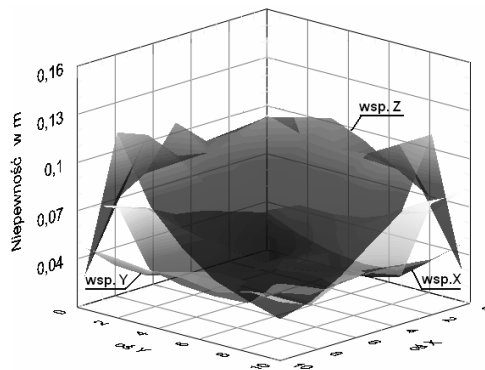
Dla lokalizowanego obiektu na wysokości $Z=1\text{ m}$, niepewności wyznaczania współrzędnych X i Y zmieniają się w przedziale (1-8) cm, natomiast współrzędnej Z w przedziale (3-14) cm. Na wysokości $Z=9\text{ m}$ niepewności wyznaczania współrzędnych X i Y zmieniają się w przedziale (2-7) cm, natomiast współrzędnej Z w przedziale (4-11) cm.



Rys. 7. Niepewność wyznaczania współrzędnych dla czterech odbiorników w dwóch płaszczyznach dla $Z=1\text{ m}$

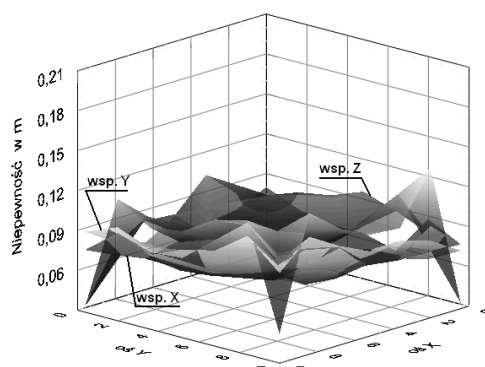
Fig. 7. The uncertainty of coordinates for four receiver sets in two planes for $Z=1\text{ m}$

Szacując niepewność wyznaczania współrzędnych dla położenia obiektu z dowolną współrzędną Z (rys. 9) uzyskano wartości niepewności wszystkich współrzędnych z tego samego przedziału wartości od (3-12) cm. Rozrzut niepewności dla ułożenia detektorów w dwóch płaszczyznach jest wyraźnie mniejszy. Wartość niepewności jest też o około 15% mniejsza niż w przypadku, gdy wszystkie detektory znajdują się w jednej płaszczyźnie.



Rys. 8. Niepewność wyznaczania współrzędnych dla czterech odbiorników w dwóch płaszczyznach dla $Z=9\text{ m}$

Fig. 8. The uncertainty of coordinates for four receiver sets in two planes for $Z=9\text{ m}$



Rys. 9. Maksymalna niepewność wyznaczania współrzędnych dla czterech odbiorników w dwóch płaszczyznach

Fig. 9. The maximum uncertainty of co-ordinates for four receiver sets in two planes

4. Wnioski

Przedstawione wyniki oszacowania zarówno obszaru przestrzennego, w którym może znajdować się lokalizowany obiekt, jak i wartości niepewności tej lokalizacji, wskazują na istotny problem wyboru położenia układów odbiorczych. Jak pokazały wyniki przykładowych przeprowadzonych obliczeń, zalecane położenia nie zawsze są optymalne z metrologicznego punktu widzenia. Zaproponowana metoda rozwiązania tego problemu oraz stworzone narzędzie pozwalają rozwinąć skutki przyjętego rozmieszczenia układów odbiorczych w systemach LPS.

5. Literatura

- [1] S.Zator: Systemy lokalnego pozycjonowania w gospodarce remontowej kotłowni, Forum Energetyków GRE 2006, X Międzyn. Konf. Nauk.-Techn., Zeszyty Naukowe Pol. Opolskiej Nr 295/2006, Seria Elektryka z.59 t.2,
- [2] Bulusu N.: Self-Configuring Localization Systems, PhD thesis, University of California, Los Angeles 2002
- [3] System Hexamite H9, witryna internetowa www.hexamite.com
- [4] S. Kubisa: Sześć podejść do oceny miary dokładności pomiaru – od determinizmu po symulację Monte-Carlo, Pomiary Automatyka Kontrola, nr 2/2007, s. 8-11