

УДК 621.19

В.П. Малько, студент гр. ПК-11мн
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ПОВНОЇ ФАЗИ СИГНАЛУ ПРИ ДВОКООРДИНАТНІЙ РЕЄСТРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Анотація. Розглянуто підсистему координатної реєстрації положення датчиків в системах автоматизованого неруйнівного контролю, яка реалізує акустичний фазовий метод вимірювання відстаней. Досліджено процес відновлення повної фази сигналу, який поширюється вздовж вимірюваної відстані, що ґрунтується на багаточастотному фазовому методі та представленні результатів фазових вимірювань в числовій системі залишкових класів. Проведено моделювання процесу відновлення повної фази сигналу та координат датчика.

Ключові слова: визначення координат, фазовий метод, система залишкових класів, автоматизовані системи НК.

ВСТУП

На сьогодні в різних технічних застосунках актуальним є питання визначення координат об'єктів. Задача координатної реєстрації положення датчиків є актуальною і в системах автоматизованого неруйнівного контролю. Використання такої інформації дає змогу будувати В-скани та підвищувати об'єктивність контролю.

Для визначення координат в технічних системах широко використовують фазовий метод вимірювання. Він полягає в поширенні гармонічного сигналу з довжиною хвилі λ вздовж відстані D та вимірюванні фазового зсуву між випроміненим та прийнятим сигналами.

$$\begin{aligned} u_1(t) &= U_1 \sin(\omega t), t \in [0, T], \\ u_2(t, x) &= U_2 \sin\left[\omega t - 2\pi \frac{D}{\lambda}\right], t \in [0, T], \end{aligned} \quad (1)$$

де U_1, U_2 – амплітуди сигналів, ω – кругова частота, T – час спостереження сигналів (значно більший за період сигналу).

Використання цього методу в широкому динамічному діапазоні зміни відстаней зумовлює вихід значень фазових зсувів сигналів виду за інтервал їх однозначного визначення $[0, 2\pi)$. Тому з'являється необхідність розв'язання задачі багатозначності результатів фазових вимірювань за допомогою спеціальних багаточастотних методів.

В роботі [1] запропоновано використання числової системи залишкових класів (СЗК) для усунення багатозначності для методу багаточастотних фазових вимірювань. Сутність СЗК полягає у представленні цілих чисел з певного інтервалу множиною невід'ємних лишків від ділення цих чисел на раніше обрані модулі системи. Модулі представляють собою групу взаємпростих чисел, їх кількість та номінали вибираються в залежності від максимального перетворюваного цілого числа.

Мета даної роботи полягає у поширенні методу усунення багатозначності фазових вимірювань на основі СЗК на випадок двокоординатної реєстрації положення датчиків в системах автоматизованого НК.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

На сьогоднішній день існує багато методів визначення координат

перетворювачів.

В роботі [2], автором були наведені декілька способів визначення координат: механічний, ультразвуковий, електромагнітний та світловий.

Механічний спосіб визначення координат забезпечує можливість визначення декартових координат. Для визначення координат великогабаритних об'єктів використовують дві рулетки, закріплені на відомій відстані, до кінців мірних стрічок рулеток приєднаний перетворювач. За визначеними трьома довжинами стрічок визначаються координати перетворювача. Точність виміру координат становить ± 15 мм та залежить від похибки виміру довжин стрічок та точності встановлення бази вимірювань.

Наведені ультразвукові, електромагнітні та світлові методи відносяться до безконтактних методів визначення координат та дають змогу визначати як декартові так і полярні координати. Загальні схеми для безконтактних методів подібні, але відрізняється типом датчиків та випромінювачів відповідного типу випромінювання. Точність визначення координат складає $\pm 5 \pm 5$ мм, яка забезпечує можливість їх використання в системах координатної реєстрації систем НК.

Отже, використання безконтактних методів дають змогу визначати положення датчика з більшою точністю ніж існуючі механічні методи, тому використання безконтактних методів координатної реєстрації в систем НК є актуальною науковою задачею.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ідея використання СЗК для усунення багатозначності фазових вимірювань в двокоординатній системі реєстрації інформації викладено в роботі [3]. Нижче виконано моделювання процесу відновлення повної фази з метою підтвердження працездатності розглянутого в цій роботі алгоритму.

Вихідні дані: моделювання проводилось для площини квадратної форми розмірами 1×1 м. Гратка координат задається в межах квадрату з дискретним кроком 1 мм. Значення бази b (відстані між приймачами, рис.1.) дорівнює 1 м. Передбачається, що на кінцях бази встановлено два ультразвукові приймачі, а випромінювач встановлено на первинному перетворювачі в точці C_1 (рис.1.), координати якого необхідно визначити. Метод визначення координат – багаточастотний акустичний фазовий метод. Кількість робочих частот – три. Метод усунення неоднозначності фазових вимірювань – метод на основі СЗК.

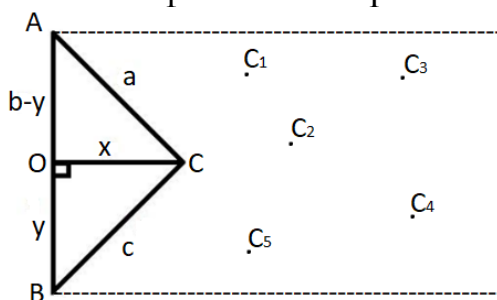


Рисунок 1. Визначення координат $t.C(x,y)$ через трикутник

Необхідно за результатами оцінених фазових зсувів сигналів в межах інтервалу $[0, 2\pi)$ відновити повну фазу сигналу, що утворюється при його поширенні на дистанції від випромінювача до приймача та оцінити похибку його відновлення.

На етапі підготовки експерименту були розраховані такі необхідні дані:

Модулі системи СЗК: $m_1 = 11, m_2 = 13, m_3 = 15$;

Ортонормовані базиси B_i : $B_1 = 1365, B_2 = 495, B_3 = 286$;

Робочі частоти f_i : $f_1 = 30$ кГц, $f_2 = 25.5$ кГц, $f_3 = 22$ кГц;

Дискрети визначення фазових зсувів на частотах f_i :

$$\Delta\varphi_1 = 0.571 \text{ рад}, \Delta\varphi_2 = 0.483 \text{ рад}, \Delta\varphi_3 = 0.419 \text{ рад} = 0.483 \text{ рад},$$

$$\Delta\varphi_3 = 0.419 \text{ рад} = 0.419 \text{ рад};$$

Використовуючи теорему Піфагора отримаємо рівняння для сторін a та c , рис. 1.:

$$a = \sqrt{x^2 + (B - y)^2}; c = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad (2)$$

Використовуючи вхідні параметри отримаємо рівняння для повного та доступного вимірюванню фазових зсувів сигналів:

$$\Phi_a = \frac{\omega \cdot a}{v}; \Phi_c = \frac{\omega \cdot c}{v}; \varphi_{a,c} = \Phi_{a,c} \text{ mod } 2\pi; \quad (3)$$

На рис.2 наведено блок-схему процесу відновлення повної фази сигналу та координат перетворювача.

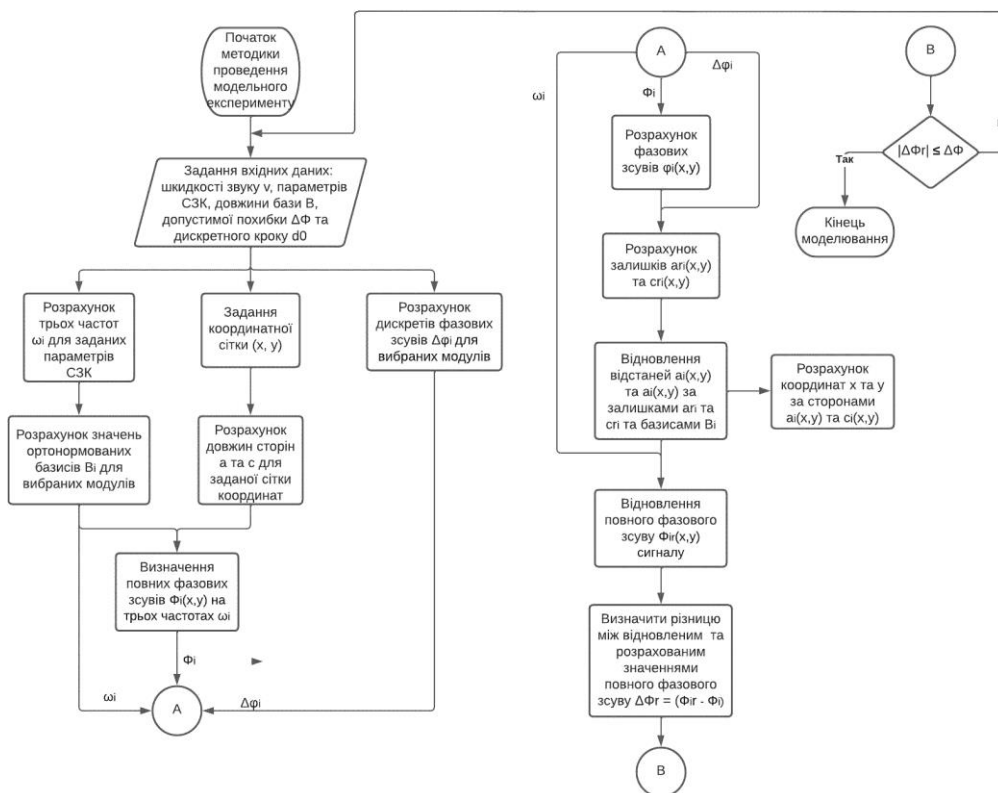


Рисунок 2. Блок-схема алгоритму відновлення повної фази сигналу

В результаті проведення моделювання були отримані тривимірні графіки похибок розрахованих та відтворених значень фазових зсувів сигналів для кожної сторони (рис.3).

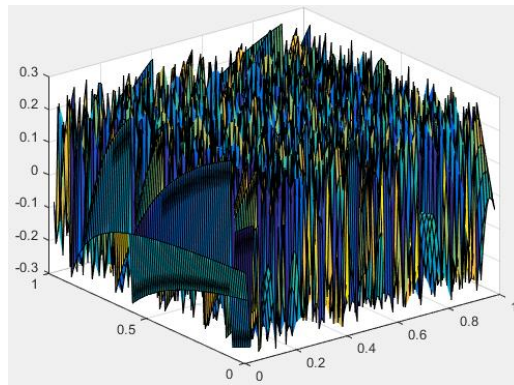


Рисунок 3. Похибки відтворення повної фази сигналу для сторін А та С

З графіків видно, що отримані значення відновленого та розрахованого фазового зсуву відрізняються не більше, ніж на ± 0.3 рад, що відповідають 17.2° 17.2° , тобто знаходяться в межах дискретів вимірювання фазових зсувів. Грубі помилки відновлення великих фазових зсувів відсутні. Виконане моделювання підтвердило коректність алгоритму відновлення повної фази сигналу і визначення координат датчика та його програмної реалізації і може бути використано в системах НК для координатної реєстрації інформації.

ВИСНОВКИ

Проаналізована можливість відновлення повної фази сигналу за допомогою системи залишкових класів. Наведена блок-схема алгоритму реалізації моделювання відновлення повної фази за допомогою СЗК. Проаналізувавши графіки моделювання була визначена похибка відтворення повної фази, яка становить ± 0.3 рад. В реальних системах НК на визначення координат впливають шуми, тому необхідно провести модельні експерименти відновлення повної фази за їх наявності. Для гарантування розрізнення кожної з точок C_i необхідно визначити мертві зони, в яких неможливо розрізнити координати двох сусідніх точок. Також з метою підвищення точності визначення координат необхідно виконувати калібрування системи по швидкості ультразвуку, яка є функцією від метеопараметрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Куц Ю. В. Застосування модулярної арифметики у багатошкільних фазових вимірюваннях / Ю. В. Куц. // *Метрологія та прилади*. – 2017. – №5. – С. 98–105.
- [2] Маєвський С.М. Координатна реєстрація в дефектоскопії / С.М. Маєвський, К.М. Серий. – Львів: ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2011. – 116с
- [3] Малько, В. П. Координатна реєстрація в системах автоматизованої дефектоскопії / В. П. Малько // *XVII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 07-08 грудня 2021 р, м. Київ, Україна : збірник праць конференції*. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – С. 264–267. – Бібліогр.: 4 назви.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Куц Ю.В