

### **Література**

1. Остаф'єв В.О., Держук В.А., Румбешта В.О. Технологические процессы изготовления деталей приборов. – К.: Высшая школа, 1983. – 207 с.
2. Румбешта В.О. Основы технологии складання приладів: Підручник. – К.: ІСДО, 1993. – 303 с.
3. Глоба Л.С. Интеллектуальная компьютерная технология конструкторско-технологической подготовки механо-обработывающего производства: Дис.д-ра. тех. наук: 05.12.13. -К., 1996. -58с.

Стельмах Н.В., Румбешта В.О. Паткевич О.И. <b>Состояние современного производства приборов и возможные пути повышения его эффективности.</b> В работе проведен анализ современного производства приборов. Рассмотрены основные особенности и специфика мелкосерийного приборостроения. Определены основные факторы, влияющие на трудоемкость и сложность приборостроения. Предложены новые пути для повышения эффективности современного производства приборов.	Stelmakh N.V., Rumbeshta V.O., Patkevich O.I. <b>Condition of modern manufacture of devices and possible ways of increase of its efficiency.</b> In work the analysis of modern manufacture of devices is lead. Have considered the basic features and specificity of small-scale instrument making. Have defined the major factors influencing labour input and complexity of instrument making. New ways for increase efficiency modern manufacture of devices are offered.
--	--

*Надійшла до редакції  
4 вересня 2006 року*

УДК 621.531

## **ОПТИМАЛЬНА МОДЕЛЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ОБ'ЄКТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ**

*Руднєва М.С., Національний авіаційний університет, м.Київ, Україна*

*Розроблена оптимальна модель ідентифікації при вимірюванні об'єктів із застосуванням вейвлет-перетворення. Наведений метод дозволяє забезпечити найбільш ефективний режим роботи інтелектуальної системи вимірювання в реальному масштабі часу*

### **Вступ. Постановка задачі**

Розвиток сучасних інформаційно-вимірювальних систем потребує застосування нових методів ідентифікації об'єктів. Методи цифрової обробки сигналів дають можливість підвищувати якість розпізнавання об'єктів.

Цифрова обробка здійснюється за наступними вимогами [1]: точне перетворення сигналу, стиснення цього сигналу, можливість відтворення оригінального сигналу. Враховуючи вищезазначені вимоги при побудові оптимальної моделі ідентифікації сигнал представляють у вигляді точно локалізованої флуктуації частотно-часових характеристик. Обробка інформації в цих системах здійснюється розкладанням в деякий безкінечний ряд за одним з типових ортогональних базисів з метою прийняття рішення. Дослідження методів вейвлет-перетворення були розглянуті в [1, 3], однак до теперішнього часу ці методи не були застосовані для ідентифікації об'єктів вимірювання.

Постановка задачі полягає у розробці оптимальної моделі ідентифікації при

вимірюванні об'єктів на координатно-вимірювальній машині (КВМ) із застосуванням вейвлет-перетворення. Задача підвищення якості розпізнавання при вимірюванні безпосередньо пов'язана з питанням вибору методів обробки сигналів. В цьому випадку вейвлет-перетворення дає змогу вирішити цю задачу.

### **Основна частина. Розв'язання задачі**

КВМ є складним механізмом, який має пристрої керування, електромеханічні елементи, інформаційно-вимірювальні системи. Основною умовою керування КВМ є необхідність реалізувати багатомірний рух по п'яти координатам. На практиці існує необхідність виконувати процес ідентифікації та вимірювання при траєкторних переміщеннях вимірювальної головки. Тому актуальною задачею є створення математичної моделі ідентифікації із застосуванням різних методів обробки при вимірюванні об'єкту. Ці методи базуються на дослідженні та обробці Фур'є-спектру інтерференційного сигналу. Однак застосування перетворення Фур'є для відновлення функції руху об'єкту має істотний недолік в тому випадку, коли необхідно отримати точну інформацію про локалізацію сингулярностей в часовій та частотній областях.

В умовах промислового виробництва контрольні операції при вимірюванні залежать від точності переміщення об'єкту та стабілізації вимірювальної головки.

Дінамічну систему КВМ можливо уявити у вигляді нелінійного рівняння:

$$\dot{x} = f(x(t), q, t), \quad (1)$$

де  $f$  – нелінійна функція,  $q$  – параметр,  $t$  – час.

Якщо відомі результати вимірювання даних  $y(t)$ , тоді задача ідентифікації буде зводитися тільки до визначення параметру  $q$ .

Задача розпізнавання в реальному масштабі часу полягає в отриманні інформації та перетворення цієї інформації в кластери. Для зменшення дії дестабілізуючих чинників при ідентифікації можливо застосування фільтрів, які можуть бути як лінійними, так і нелінійними. Потім виконується сегментація об'єкту та контури з графічного растрового зображення перетворюються на текстовий опис вимірювального об'єкту. За координатним описом об'єкту будується його зображення у вигляді контурних функцій. Отримана інформація надходить на останній етап – розпізнавання.

Однією з проблем ідентифікації є розпізнавання об'єктів відхилення від форми та розташування поверхонь. В цьому випадку необхідно враховувати нев'язку.

Вона може бути представлена рівнянням:

$$\varepsilon(n) = y(n) - \hat{y}(n), \quad (2)$$

де  $y(n)$  – вихідні параметри об'єкту,  $\hat{y}(n)$  – величина настроюваної моделі.

Задача визначення оптимального алгоритму ідентифікації зводиться до задачі мінімізації функціонала нев'язки та має вигляд:

$$M \{ \varepsilon^2(n) \} = \Phi(\mathcal{K}_1, \mathcal{K}_2) \rightarrow \min, \quad (3)$$

де  $\mathcal{K}_1, \mathcal{K}_2$  – передатні функції.

Але для покращення процесу ідентифікації найсучаснішими методами є застосування методів вейвлет-перетворення.

Якщо вимірювання здійснюється за допомогою пакету прикладних програм, тоді ідентифікація проводиться в наступній послідовності:

- Обробка даних, фільтрація, побудова залежностей;
- Методи параметричної ідентифікації для різних модельних структур;
- Непараметричні методи ідентифікації: розрахунок кореляцій, спектрів, застосування вейвлет-перетворення;
- Відображення моделі: діаграми, імітаційне моделювання;
- Процедури підтвердження.

Апріорне знання не завжди надає повну інформацію про об'єкт дослідження. Тому необхідно використовувати статистичні методи, які дозволяють використовувати різного типу фільтрів, що надають по закінченні дослідження достовірні результати про систему. В деяких випадках використовують стандартні лінійні моделі. Визначення на основі спостереження адекватної моделі є основною задачею при побудові оптимальної моделі. Завершальний етап містить перевірку вибраної моделі та підтвердження її для вирішення конкретної задачі ідентифікації та вимірювання об'єкту зі складною просторовою поверхнею.

У випадку, коли вибрана модель не відповідає оптимальній системі, необхідно визначити причини не оптимальності, до яких належать [2-4]:

- числовий метод не дозволяє знайти найкращу за обраним критерієм модель;
- критерій вибраний неправильно;
- вибрані моделі не відповідають якості системи;
- апріорні данні не були достатніми для вибору оптимальної моделі.

Перевірка та адекватність моделі можливо представити, якщо подати вхідний сигнал у систему, обрану модель та зрівняти величину вихідного сигналу. Якщо похибка мінімальна, то модель є оптимальною для вирішення цього класу задач.

Вейвлет-аналіз дає можливість являти собою одну з форм частотно-часового аналізу, який призначений для виявлення локальних флуктуацій сигналу. Якщо неперервне вейвлет-перетворення CWT [3] дорівнює:

$$CWT_f(a, b) = \langle f(t), \psi_{a,b}(t) \rangle = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (4)$$

тоді

$$f(t) = C_{\psi}^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{da}{a^2} \int_{-\infty}^{\infty} CWT_f(a, b) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) db, \quad (5)$$

де коефіцієнт нормування  $C_{\psi}^{-1} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty, \quad a, b \in R.$

В дискретному вейвлет-перетворенні (DWT) введемо масштабний коефіцієнт  $a = a_m = a_0^m$  ( $a_0 > 1$ ), що еквівалентно розбиттю частотної осі на частотні смуги.

Частотне вікно матиме границі:

$$\left( \frac{\omega_0}{a_m} - \frac{\Delta_{\omega}}{a_m}, \frac{\omega_0}{a_m} - \frac{\Delta_{\omega}}{a_m} \right) = (a_0^{-m+1} \Delta_{\omega}, a_0^{-m+2} \Delta_{\omega}), \quad (6)$$

тоді центральна частота  $m$  - того вейвлету має вигляд

$$\frac{\omega_0}{a_m} = (a_0 + 1)a_0^{-m} \Delta_m \quad (7)$$

У координатно-вимірювальних машинах при русі системи відображена точка вимірювання весь час змінює своє місце знаходження в просторі, вимірювальна головка описує криву, яка і визначає траєкторію руху. Дослідження конфігурації вимірювального механізму необхідно для формального визначення робочої операції. Найбільш відомий метод дослідження конфігураційного простору вимірювального механізму розглядається із застосуванням зміни прийнятих загальних координат з визначенням параметрів відображеної точки.

Відновлення траєкторії руху об'єкту за допомогою двох інтерференційних сигналів при застосуванні вейвлет-перетворення [5-7] з найбільшою точністю забезпечує високу ступінь відновлення сигналу.

Змінна складова інтерференційного сигналу має вигляд:

$$I(t) = A \cos\left(\theta + \frac{4\pi}{\lambda} f(t)\right), \quad (8)$$

де  $A$  – амплітудний коефіцієнт;  $t$  – час;  $\theta$  – фаза сигналу,  $\lambda$  – довжина хвилі,  $f(t)$  – функція, що характеризує рух об'єкту та має вигляд:

$$f(t) = K_{\psi_1}^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} C(a, b) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi_1\left(\frac{t-b}{a}\right) \frac{dad b}{a^2}, \quad (9)$$

де  $\psi_1$  – базисна вейвлет-функція,  $C(a, b)$  – коефіцієнти вейвлет-перетворення функції.

Якщо ввести функцію  $S(t)$ , виходячи з умов співпаданя її спектру з точністю до постійного множника спектру функції  $f(t)$ :

$$S(t) = \frac{dI_1 / dt}{I_2(t)} = \frac{4\pi}{\lambda K_{\psi_1}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} C(a, b) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi_2\left(\frac{t-b}{a}\right) \frac{dad b}{a^2}. \quad (10)$$

Метод надає можливість ідентифікувати об'єкт, визначити зміщення об'єкту та відновити напрямок руху.

### **Висновки**

Дослідження довели, що внаслідок використання в якості ознак значень масштабних коефіцієнтів вейвлет-перетворення на проміжках часу, де спостерігається екстремуми кореляційної функції частоти, підвищується ефективність розпізнавання об'єкту та вимірювання складних просторових поверхонь. На відміну від традиційного перетворення Фур'є, вейвлет-перетворення забезпечує двовірне представлення досліджуваного сигналу в частотній області та в площині частота-положення.

Запропонована оптимальна модель ідентифікації при вимірюванні надає можливість досліджувати процес ідентифікації вимірювання геометричних розмірів та прогнозувати відхилення від математичної моделі геометричних розмірів деталей, а також проаналізувати об'єкт з використанням коефіцієнтів

вейвлет-перетворення сигналу на ділянках, де спостерігається екстремуми кореляційної функції. Точність вимірювання при застосуванні методу вейвлет-перетворення підвищується. При подальших дослідженнях буде здійснена ідентифікація параметрів об'єктів прецизійних деталей.

#### **Література**

1. Биков М.М., Ковтун В.В. Аналіз ефективності ідентифікації диктора за частотою основного тону. Вісник технологічного університету Поділля - Хмельницький: ХДУ - №2. Ч.1. – Т.2. – С.20-24.
2. Пупков К.А., Неусыпин К.А. Выбор оптимальной структуры измерительного комплекса. // Изв.вузов. Приборостроение. – 1998. – Т.41, №1-2. – С.34-39.
3. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-перетворения. СПб.: ВУС, 1999. – 203 с.
4. Цыпкин Я.З. Информационная теория идентификации. – М.: Наука–Физ.мат.лит. – 1995. –336 с.
5. Шередко Ю.Л., Марусяк А.В. Способ корректного сведения задачи идентификации к задаче распознавания образов // Управляющие системы и машины.– 2002.– №5. – С.5-12.
6. Ту Д.Т., Гонсалес Р.К. Принципы распознавания образов / Пер. с англ. И.Б. Гуревич; Под ред. Р.И.Журавлева. – М.: Мир, 1978. – 411 с.
7. Сибрин А.П. Вопросы идентификации нелинейных систем управления с использованием частотных характеристик // Применение систем автоматизированного проектирования в приборостроении и машиностроении. – Челябинск, 1980. – С.92-99.

**Руднева М.С. Оптимальная модель идентификации при измерении объектов с применением вейвлет-преобразования.**

Разработана оптимальная модель идентификации при измерении объектов с применением вейвлет-преобразования. Приведенный метод позволяет обеспечить наиболее эффективный режим работы интеллектуальной системы измерений в реальном масштабе времени.

**Rydneva M.S. Optimum model authentication at measuring objects with the use of wavelet – transformation.**

The optimum model of authentication at measuring of objects is developed with the use of wavelet-transformation. The resulted method allows to provide the most effective mode of operations of the intellectual system of measurings in the real time.

*Надійшла до редакції  
4 вересня 2006 року*

УДК 681.325

## **ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ СУМІЩЕНИХ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДИНАМІЧНОГО ТИСКУ**

*Тихан М.О., Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна*

*Запропоновані головні теоретичні засади побудови нового типу мікромеханічних сенсорів - суміщених тензометричних перетворювачів динамічного тиску, котрі покликані здійснювати вимірювання в реальному масштабі часу*

### **Вступ**

Сучасні високотехнологічні галузі, а саме: аерокосмічна промисловість, двигунобудування, теплоенергетика та інші вимагають створення більш швидкодіючих та точніших систем автоматичного контролю та керування [1-6].