

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ СИГНАЛІВ НА ВХОДІ ЛІНІЙНИХ ІНЕРЦІЙНИХ ДАТЧИКІВ

Розглядається проблема відновлення сигналу на вході лінійного інерційного датчика з його одночасною ідентифікацією. Проведена оптимізація розробленого функціоналу. Отримана оцінка якості відновлення сигналу на вході датчика. Обґрунтовані вимоги щодо точності вимірювання сигналів на виході вимірювача в інтересах забезпечення високої якості відновлення сигналу на вході, вказані обмеження щодо застосування представленого методу. Представлені пропозиції щодо метрологічного забезпечення оберненої задачі.

Ключові слова: датчик, обернена задача, відновлення сигналів, генетичний алгоритм.

Вступ

Постановка задачі. Отримання виміральною системою достовірної інформації з об'єкта під час вимірювань ускладнюється умовами, в яких працюють датчики. Спостворювання вихідного сигналу датчика може бути обумовлено, наприклад, розузгодженням амплітудно-частотної характеристики останнього зі спектром вхідного сигналу. Отже, в окремих ситуаціях виникають сумніви щодо достовірності інформації, яка отримується виміральною системою, і з'являється необхідність визначення сигналу на вході датчика.

Аналіз літератури. Подібна проблема відноситься до обернених задач, що широко представлені в літературі [1 – 3]. Класичний метод розв'язання оберненої задачі полягає у знаходженні процесу на вході датчика, коли відомими є вихідний сигнал датчика і оператор, що характеризує його динамічні властивості, наприклад, імпульсна перехідна характеристика, яка відома точно. Вихідний сигнал датчика представляється у вигляді згортки вхідного сигналу і відомої імпульсної характеристики датчика, а сигнал на вході датчика визначається на основі розв'язання інтегрального рівняння згортки. Недоліком зазначеного методу є необхідність точної математичної моделі (імпульсної характеристики) датчика. Чутливість методу до якості апріорної інформації може значно знижувати точність відновлення сигналу при наявності навіть невеликих неточностей в моделі імпульсної характеристики датчика. В публікації [4] розглянуто різні способи опису сигналів і характеристики оптимальних систем їх обробки. Способи застосування генетичних алгоритмів для розв'язання інженерних задач приведені в [5].

Мета роботи – розробка методу відновлення сигналу на вході датчика при обмежених апріорних відомостях про імпульсну характеристику датчика.

Рішення задачі

Нехай на вхід датчика надходить реалізація випадкового сигналу $d(t)$ (рис. 1), яка точно відома. При математичному моделюванні:

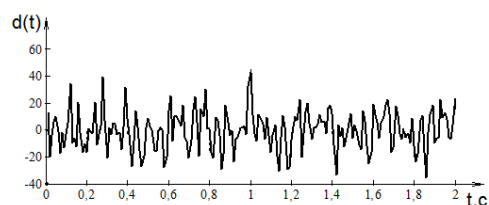


Рис. 1. Приклад вхідного сигналу

Вважаємо, що форма імпульсної характеристики датчика може бути записана як функція загального вигляду, наприклад,

$$h_r(t) = \frac{2}{\Gamma(m_1)} \left(\frac{m_1}{m_2}\right)^{m_1} t^{2m_1-1} \exp\left(-\frac{m_1 t^2}{m_2}\right), \quad (1)$$

$$t > 0, m_1 \geq 0.5, m_2 > 0,$$

де m_1, m_2 – невідомі параметри, які характеризують форму імпульсного відгуку.

Реалізація вхідного сигналу $d(t)$ в s -мірному представленні $d_r(t)$:

$$d_r(t) = \sum_{i=1}^s a_i \psi_i(t). \quad (2)$$

У виразі (2) випадкові коефіцієнти a_i ряду невідомі, а функції $\psi_i(t)$ є ортонормованими базисними і вибираються дослідником. Реалізація вихідного сигналу лінійного перетворювача визначається рівнянням згортки

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h_r(\tau) d_r(t - \tau) d\tau + n(t), \quad (3)$$

де $h(t)$ – імпульсна характеристика датчика; $n(t)$ – адитивний випадковий процес (шум), який ми приймаємо як білий гаусівський шум.

Беручи до уваги (1) і (2), вираз (3) можна записати наступним чином

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h_r(\tau) \sum_{i=1}^s a_i \psi_i(t - \tau) d\tau + n(t). \quad (4)$$

У виразі (4) нам відомий вихідний сигнал $y(t)$, що вимірюється, і функції $\psi_i(t)$. Цей вираз включає $s+2$ невідомих параметрів, серед них коефіцієнти a_i є випадковими. Скорочення їх кількості можливо у випадку, коли форма вхідного сигналу $d(t)$ проста.

Задача оцінки невідомих коефіцієнтів a_i зводиться до задачі мінімізації функціоналу

$$J(a_1, \dots, a_j, m_1, m_2) = \int_{-\infty}^{\infty} [y(t) - \int_{-\infty}^{\infty} h_r(\tau) \sum_{i=1}^j a_i \psi_i(t - \tau) d\tau - n(t)]^2 dt \quad (5)$$

для кожної реалізації вхідного сигналу і шуму. Вираз (5) містить різницю між відомим вихідним сигналом і його апроксимацією, що представлена сумою.

Функціонал (5) містить $s+2$ невідомих параметрів: s коефіцієнтів ряду (2) і коефіцієнти m_1, m_2 функції (1). Отже, треба мінімізувати функцію багатьох параметрів. Досвід показує, що такі задачі найкраще розв'язуються за допомогою глобальних методів випадкового пошуку, наприклад, генетичних алгоритмів у випадках, коли відсутні вимоги щодо отримання результатів в реальному масштабі часу. Після знаходження глобального мінімуму (5) визначаємо коефіцієнти ряду Карунена-Лоева $a_1 \dots a_j$ і параметри імпульсної характеристики m_1, m_2 (1), потім реалізацію розрахованого вхідного сигналу $d_r(t)$. Схожість сигналів $d(t)$ і $d_r(t)$ визначимо за допомогою коефіцієнта кореляції.

Для оцінки якості роботи генетичного алгоритму 1000 разів розраховувався коефіцієнт кореляції при однакових параметрах. Середнє значення отриманої вибірки коефіцієнтів кореляції – 0,95 (рис. 2), що вказує на гарну якість роботи алгоритму відновлення сигналу на вході датчика.

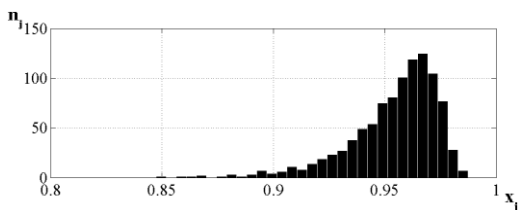


Рис. 2. Розподіл коефіцієнтів кореляції K між реалізаціями вхідного і перерахованого сигналів, що характеризує якість роботи генетичного алгоритму

Точність розрахунку сигналу генетичним алгоритмом залежить від багатьох факторів, наприклад, кількості коефіцієнтів, відношення сигнал-шум і параметрів генетичного алгоритму.

На рис. 3 представлена залежність коефіцієнта кореляції K між реалізаціями вхідного і перерахованого сигналів від співвідношення сигнал-шум при різних кількості невідомих коефіцієнтів m ряду, що описує вхідний сигнал $d_r(t)$.

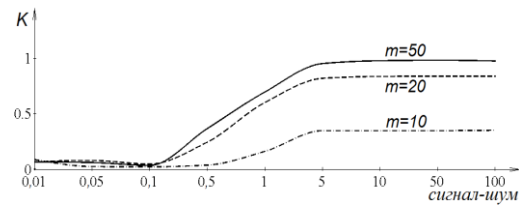


Рис. 3. Залежність коефіцієнта кореляції K між реалізаціями вхідного і перерахованого сигналів від співвідношення сигнал-шум

Після досягнення певного числа коефіцієнтів ряду точність відновлення сигналу не збільшується. При співвідношенні сигнал-шум приблизно 5, кількості коефіцієнтів, що перевищує 50, коефіцієнт кореляції наближається до 1.

Представлені показники вказують на високу якість відновлення сигналу на вході датчика. Але реальний сигнал на його вході $y(t)$ в формулі (4) реєструється з похибкою, тобто у випадковому процесі може неточно визначитись математичне сподівання і дисперсія.

Для дослідження впливу їх величини на якість відновлення проведено моделювання.

На рис. 4 приведена залежність коефіцієнта кореляції від відносної похибки математичного сподівання вихідного сигналу датчика, що нормована до амплітуди сигналу. При розмірі похибки більшій 10% точність починає різко зменшуватись і після досягнення 50% відновлення сигналу практично неможливе.

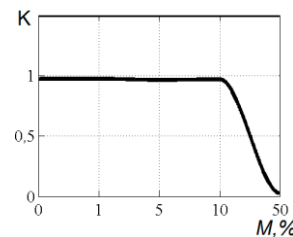


Рис. 4. Залежність коефіцієнта кореляції K між реалізаціями вхідного і перерахованого сигналів датчика від похибки визначення математичного сподівання вихідного сигналу датчика

Похибка дисперсії D також представлена в відсотках як відношення до квадрата амплітуди сигналу. На рис. 5 представлена залежність коефіцієнта кореляції між реалізаціями вхідного і перерахованого сигналів датчика від похибки дисперсії. Зниження точності відбувається при D більшій за 20%, а при 100% відновлення неможливе.

Час розрахунку імпульсної характеристики датчика та реалізації вхідного сигналу залежить від багатьох факторів. Вони включають складність вхідного сигналу і форми імпульсної характеристики, а також

апріорну інформацію про них. Збільшення числа коефіцієнтів збільшує час обчислень, наприклад, так як показано на рис. 6 (обчислення проводились на комп'ютері з двоядерним процесором тактовою частотою 2 GHz і об'ємом оперативної пам'яті 2 Гб).

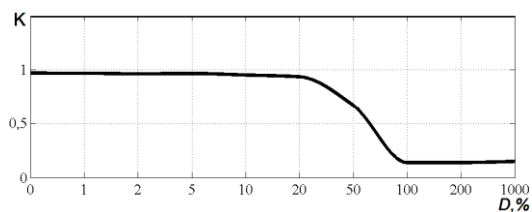


Рис. 5. Залежність коефіцієнта кореляції K між реалізаціями вхідного і перерахованого сигналів від похибки дисперсії

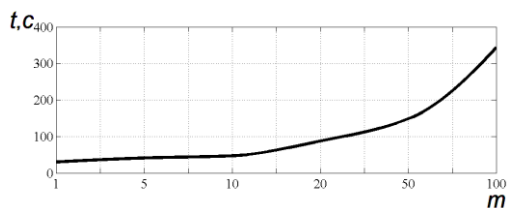


Рис. 6. Залежність часу розрахунку глобального екстремуму функціонала (5) від числа випадкових коефіцієнтів

Для оцінки точності відновлення сигналу необхідно володіти інформацією про характер протікаючого процесу, який вимірюється. Потрібно паралельно вести вимірювання датчиком, за допомогою якого можна отримати еталонний для даного вимірювання сигнал. Використання датчику одного типу з інерційним неможливе через схожу смугу пропускання. Отже, для отримання сигналу, який добре описує характер протікаючого процесу, необхідно використовувати датчики з мінімальною динамічною похибкою вимірювання. В якості малоінерційних можуть бути використані оптичні, наприклад, лазерні датчики. При відновлюванні вхідного сигналу запропонованим методом згладжені інерційними датчиками швидкі змінювання параметрів сигналів

можуть бути виявлені за допомогою методу, представленого в [6].

Висновок

Результати моделювання показують високу якість відновлення вхідного сигналу. Однак, це займає деякий час через особливості стохастичного пошуку екстремуму в генетичних алгоритмах, що ускладнює застосування методу для динамічних об'єктів. Для підвищення точності розв'язання оберненої задачі необхідно мати апріорну інформацію про вид імпульсної характеристики датчика та враховувати обмеження щодо застосування запропонованого методу. В якості еталонних датчиків для перевірки відновленого сигналу можна використовувати малоінерційні неконтактні датчики.

Список літератури

1. Чинков В.Н. Оптимальный метод дискретизации сигналов по минимуму погрешности восстановления / В.Н. Чинков // Украинский метрологический журнал. – 2010. – № 1. – С. 22-30.
2. Горячкин О.В. Методы слепой обработки сигналов и их применение в системах электросвязи / О.В. Горячкин // Электросвязь. – 2006. – №7. – С. 22-24.
3. Abed-Meraim K. Blind System Identification / K. Abed-Meraim, W. Hua, Y. Liu // IEEE Proceeding. – 1997. – Vol.85. – P.1308-1322.
4. Френкс Л. Теория сигналов / Л. Френкс; пер. с англ. под ред. Д. Е. Вакмана. – М.: Сов. радио, 1974. – 344 с.
5. Mitsuo Gen Genetic algorithms and engineering optimization / Mitsuo Gen, Runwei Cheng. – New York.: A Wiley-Interscience Publication, 2000. – 495 p.
6. Оптимальна система виявлення і оцінювання стрибків амплітуди вібрації динамічних об'єктів / О.В. Полярус, В.В. Барчан, Є.О. Поляков, А.О. Коваль // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Х., 2009. – 6/6 (42). – С. 21-23

Надійшла до редколегії 27.08.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.І. Нефьодов, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ СИГНАЛОВ НА ВХОДЕ ЛИНЕЙНЫХ ИНЕРЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ

А.В. Полярус, Е.А. Поляков

Рассматривается проблема восстановления сигнала на входе линейного инерционного датчика с его одновременной идентификацией. Проведена оптимизация разработанного функционала. Получена оценка качества восстановления сигнала на входе датчика. Обоснованы требования к точности измерения сигналов на выходе измерителя в интересах обеспечения высокого качества восстановления сигнала на входе, указаны ограничения по применению предложенного метода. Представлены предложения по метрологическому обеспечению обратной задачи.

Ключевые слова: датчик, обратная задача, восстановление сигналов, генетический алгоритм.

METROLOGICAL ACCURANCE FOR THE RECONSTRUCTION OF SIGNALS ON THE INPUT OF LINEAR INERTIAL SENSORS

A.V. Poliarus, E.A. Poliakov

The problem of the reconstruction of the linear inertial sensor input signal with its simultaneous identification is considered. An optimization of the developed functional is done. The quality estimation of the sensors input signal reconstruction is received. The demands for measurement accuracy of signals at the sensor measuring instrument are examined in order to ensure a high quality of the input signal reconstruction, limitation for using of the presented method are given. Proposals for the inverse problem metrological support are presented.

Key words: sensor, inverse problem, signal reconstruction, genetic algorithm.