УДК 681.5.015; 004.94

Славко О.Г.

АЛГОРИТМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ УЗАГАЛЬНЕНИХ ПАРАМЕТРІВ В СИСТЕМАХ З АКТИВНО-РЕЗОНАНСНИМ КЕРУВАННЯМ

Кременчуцький державний університет ім. М. Остроградського

Побудовано алгоритм ідентифікації узагальнених параметрів динамічної системи із використанням особливостей принципу активно-резонансного керування. Наведено приклад застосування алгоритму в реальному часі при малій апріорній інформації про керований процес для об'єкта керування в моделі з диференціальним рівнянням другого порядку. Перевага алгоритму в його інтегрованості в процедуру активно-резонансного керування

Вступ

В задачах моделювання систем типу "чорна скриня" (*black-box*) гнучкість структурної моделі об'єкта керування з великою кількістю параметрів є пріоритетною для побудови адекватної імітаційної моделі. Однак при цьому ускладнюється параметрична ідентифікація математичної моделі. Особливої актуальності проблема ідентифікації набуває у випадках малої апріорної інформації про зовнішнє збурення [1 - 3].

Метод ідентифікації параметрів математичної моделі (ММ) об'єкта керування зазвичай обирають залежно від типу системи, вимог точності моделі, обмежень на область параметрів ММ, часових вимог (реальний або модельний час), апаратних та обчислювальних можливостей моделювання та практичного спрямування модельованої системи.

З метою спрощення процедури ідентифікації об'єкта керування більшість дослідників використовують спрощення його ММ за рахунок додаткових умов та обмежень, що зменшує точність імітаційної моделі. В цій роботі, на відміну від такого підходу, параметрична ідентифікація об'єкта керування виконана з використанням особливостей алгоритму активно-резонансного (АР) керування динамічними системами [4, 5], що дозволило спростити ідентифікацію об'єкта керування в реальному часі за рахунок інтегрування її в алгоритм АР.

Побудова алгоритму ідентифікації узагальнених параметрів

Розглянемо керовану механічну систему (рис. 1, 2):

$$m\frac{d^2x}{dt^2}+\lambda\frac{dx}{dt}+kx=f\left(t\right)+u\left(t\right)\pm mg\ , \quad (1)$$

де m – невідома маса об'єкту керування, λ – невідомий коефіцієнт протидії середовища, k – невідомий коефіцієнт сили пружності, $f(t)$ – сигнал невідомого зовнішнього збурення, $u(t)$ – сигнал керування, $x(t)$ – керована реакція системи, яка визначає положення об'єкта керування, g – прискорення вільного падіння, t – час (c).

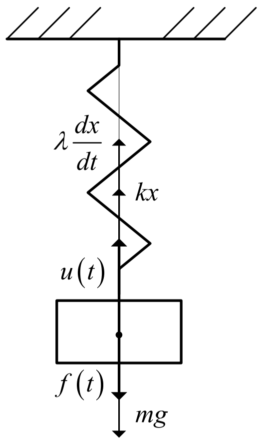

Рис. 1. Механічна схема системи

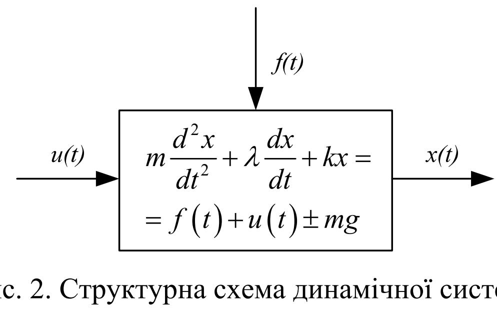

Рис. 2. Структурна схема динамічної системи

Нехай $m \neq 0$, тоді

$$\frac{d^2x}{dt^2}+\frac{\lambda}{m}\frac{dx}{dt}+\frac{k}{m}x=\frac{f(t)}{m}+\frac{u(t)}{m}\pm g, \quad (2)$$

Будемо вважати, що в початковий момент часу $t_0=0$ система знаходиться в положенні рівноваги і не рухається, тобто

$$\frac{dx(t_0)}{dt}=0, \ \frac{d^2x(t_0)}{dt^2}=0,$$

а зовнішнє збурення, що діє на систему, відсутнє:

$$f(t_0)=0.$$

У відповідності з алгоритмом активно-резонансного керування [4, 5] на початкових інтервалах часу сигнал керування на об'єкт не подається, оскільки відбувається пасивне спостереження за некерованою реакцією системи для синтезу еквіваленту сигналу невідомого зовнішнього збурення на наступних часових інтервалах, отже

$$u(t_0)=0.$$

Рівняння (2) для початкового моменту часу матиме вигляд:

$$\frac{k}{m}x(t_0)=\pm g.$$

Таким чином, визначивши початкове відхилення $x(t_0)$ об'єкта керування, отримуємо перший невідомий узагальнений параметр системи:

$$\frac{k}{m}=\pm\frac{g}{x(t_0)}.$$

Будемо вважати, що функція невідомого зовнішнього збурення *f(t)* задовольняє всім вимогам розкладання в ряд Тейлора (на початковому етапі в ряд Маклорена) та біля початкового значення $t_0=0$ може бути представлена у вигляді:

$$f(t)=f(t_0)+\frac{f'(t_0)}{1!}\Delta t+ +\frac{f''(t_0)}{2!}\Delta t^2+..+\frac{f^{(n)}(t_0)}{n!}\Delta t^n+..$$

З урахуванням $f(t_0)=0$ маємо:

$$f(t)=\frac{f'(t_0)}{1!}\Delta t+\frac{f''(t_0)}{2!}\Delta t^2+ +..+\frac{f^{(n)}(t_0)}{n!}\Delta t^n+..$$

Для досить малих Δt виконаємо лінеаризацію:

$$f(t)\approx f'(t_0)\Delta t. \quad (3)$$

Якщо розбити інтервал Δt на два (наприклад, однакових) інтервали $(\Delta t=2\Delta h)$ і ввести позначення:

$$N_0=f'(t_0),$$

то у відповідності з рис.3 отримаємо:

$$f(\Delta h)\approx N_0\cdot\Delta h,$$
$$f(2\Delta h)\approx f(\Delta h)+N_0\cdot\Delta h=2f(\Delta h),$$

або

$$f\left(\frac{\Delta t}{2}\right)\approx N_0\cdot\frac{\Delta t}{2}, \ f(\Delta t)\approx N_0\cdot\Delta t.$$

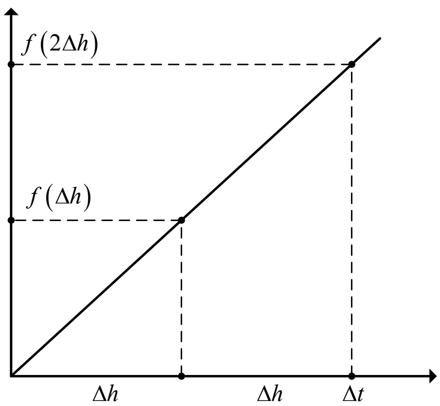

Рис. 3. Лінійне наближення *f(t)*

Як уже зазначалось, у відповідності з алгоритмом активно-резонансного керування [4, 5] в початковий момент і на деякому проміжку часу Δt пасивного спостереження за некерованою реакцією об'єкта (реакцією на невідоме зовнішнє збурення) стабілізуюче керування відсутнє: $u(t)=0$, $\forall t\in[0,\Delta t]$. Таким чином, з (2) для моментів часу $\Delta h, 2\Delta h$ отримаємо систему рівнянь:

$$\frac{d^2x(\Delta h)}{dt^2}+\frac{\lambda}{m}\frac{dx(\Delta h)}{dt}\pm\frac{g}{x(t_0)}x(\Delta h)=\frac{f(\Delta h)}{m}\pm g\,,$$

$$\frac{d^2x(2\Delta h)}{dt^2}+\frac{\lambda}{m}\frac{dx(2\Delta h)}{dt}\pm\frac{g}{x(t_0)}x(2\Delta h)=\frac{f(2\Delta h)}{m}\pm g\,.$$

Після підстановки $f(\Delta h)\approx N_0\cdot\Delta h$, $f(2\Delta h)\approx 2f(\Delta h)$, отримаємо:

$$\begin{cases}\dfrac{d^2x(\Delta h)}{dt^2}+\dfrac{\lambda}{m}\dfrac{dx(\Delta h)}{dt}\pm\dfrac{g}{x(t_0)}x(\Delta h)=\dfrac{N_0}{m}\Delta h\pm g,\\ \dfrac{d^2x(2\Delta h)}{dt^2}+\dfrac{\lambda}{m}\dfrac{dx(2\Delta h)}{dt}\pm\dfrac{g}{x(t_0)}x(2\Delta h)=2\dfrac{N_0}{m}\Delta h\pm g.\end{cases}\qquad(4)$$

Отримуючи вихідну керовану реакцію системи $x(t)$ в різні моменти часу та розбиваючи інтервал Δt на проміжки можна виконати чисельне диференціювання реакції $x(t)$ для положень $x(\Delta h)$, $x(2\Delta h)$ будь-яким чисельним методом, використовуючи проміжні значення (розбиття $\Delta\delta$, рис.4), й отримати наближені значення:

$$\frac{dx(\Delta h)}{dt},\ \frac{dx(2\Delta h)}{dt},\frac{d^2x(\Delta h)}{dt^2},\ \frac{d^2x(2\Delta h)}{dt^2}.$$

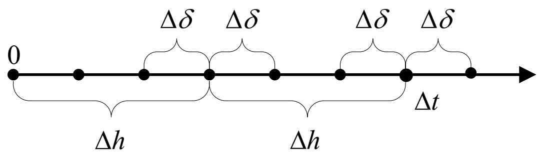

Рис. 4. Додаткове розбиття часового інтервалу Δt на проміжки $\Delta\delta$

Таким чином, в (4) невідомими величинами будуть узагальнені параметри динамічної системи:

$$\frac{\lambda}{m}\ \text{та}\ \frac{N_0}{m}.$$

Розв'язуючи систему лінійних рівнянь (4), після перетворень отримаємо:

$$\frac{\lambda}{m}=\frac{\dfrac{d^2x(2\Delta h)}{dt^2}-2\dfrac{d^2x(\Delta h)}{dt^2}\pm\dfrac{g}{x(t_0)}\big(x(2\Delta h)-2x(\Delta h)\big)}{2\dfrac{dx(\Delta h)}{dt}-\dfrac{dx(2\Delta h)}{dt}}.\qquad(5)$$

Підставивши (5) у перше рівняння системи (4), знайдемо другий невідомий параметр $\frac{N_0}{m}$:

$$\frac{N_0}{m}=\left(\left(2\frac{\partial x(\Delta h)}{\partial t}-\frac{\partial x(2\Delta h)}{\partial t}\right)\Delta h\right)^{-1}\times\left(\frac{\partial^2 x(2\Delta h)}{\partial t^2}\cdot\frac{\partial x(\Delta h)}{\partial t}-\frac{\partial^2 x(\Delta h)}{\partial t^2}\cdot\frac{\partial x(2\Delta h)}{\partial t}\pm\right.$$

$$\left.\pm g\frac{\partial x(\Delta h)}{\partial t}\left(\frac{x(2\Delta h)}{x(0)}+2\right)\mp g\frac{\partial x(2\Delta h)}{\partial t}\left(\frac{x(\Delta h)}{x(0)}+1\right)\right).$$

Таким чином, можна стверджувати, що виконана наближена ідентифікація узагальнених параметрів системи (1). Підставивши отриманні параметри в (2) з урахуванням (3) отримаємо:

$$\frac{d^2x}{dt^2}+\frac{\lambda}{m}\frac{dx}{dt}\pm\frac{g}{x(0)}x= \\ =\frac{N_0}{m}\Delta t+\frac{u(t)}{m}\pm g \quad . \qquad (6)$$

На наступних кроках алгоритму активно-резонансного керування [4, 5] для системи (6), синтезуємо еквівалент невідомого зовнішнього збурення на деякому проміжку часу та замінюємо стабілізуюче керування $\frac{u(t)}{m}$ інверсією прогнозованого сигналу апроксимованого еквіваленту невідомого зовнішнього збурення. Таким чином, необхідності у визначенні величини m, а отже, й інших розмірних значень параметрів системи (1) немає.

Висновки

Запропонований тут алгоритм ідентифікації узагальнених параметрів динамічної системи допускає подальшу модифікацію. Наприклад, для отримання більшої точності для функції $f(t)$ в розкладенні в ряд можна взяти:

$$f(t)\approx f'(t_0)\Delta t+\frac{f'(t_0)}{2}\Delta t^2 .$$

У цьому випадку інтервал Δt слід розбивати на три часткових інтервали і розв'язувати систему трьох рівнянь з трьома невідомими. І так далі. Алгоритм може бути застосованим на кожному з наступних інтервалів $[t_i, t_{i+1}]$ з урахуванням досягнутого значення функції $f(t)$ на попередньому. Крім того, можливі модифікації з нерівномірним розбиттям Δt на часткові інтервали з урахуванням градієнта попередніх значень. До того ж, уточнення початкових значень ідентифікованих параметрів може здійснюватись на будь-якому інтервалі часу t ітераційних циклів синтезу еквіваленту сигналу невідомого зовнішнього збурення, які ініціюються у разі виходу керованого об'єкта за межі визначених критеріїв стабілізації та, наприклад, за умови збільшення градієнтів вимірюваних вихідних сигналів керованої системи.

Таким чином, запропонований в роботі алгоритм узагальненої ідентифікації дозволяє спростити процедуру ідентифікації параметрів математичної моделі керованої системи у вигляді диференціального рівняння другого порядку. Запропонований алгоритм узагальненої ідентифікації може бути використаний для реалізації параметричної ідентифікації реальних динамічних систем.

Список літератури

1. *Ljung L.* System identification. Theory for the user. Second edition // Prentice Hall PTR, Upper Saddle River. – 1999. – 609 p.

2. *Эйкхофф П.* Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния. – М.: МИР, 1975. – 680 с.

3. *Цыпкин Я.З.* Информационная теория идентификации. – М.: Наука. Физматлит, 1995. – 336 с.

4. *Гученко М.І.* Активно-резонансний алгоритм стабілізації // Науковий вісник Інституту економіки та нових технологій ім. Ю.І. Кравченка, 2003. –Вип. № 1(2). – С. 57–61.

5. *Гученко М.І.* Експериментальне підтвердження адекватності активно-резонансної моделі динаміки людини-оператора в системі компенсаційного стеження // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, 2003. – Вип. 1, 2003(18). – С. 186–190.

Подано до редакції 28.01.10