УДК 681.51.015(045)

В. М. Синєглазов, д-р техн. наук, проф.,
М. С. Сторчак

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ ПАКЕТА MATLAB

Інститут аерокосмічних систем управління НАУ, email: iacs@nau.edu.ua

Виконано огляд методів параметричної ідентифікації. Згідно з аналізом за допомогою пакета MatLab зроблено висновок про ефективність наведених методів.

Ключові слова: параметричні методи ідентифікації, метод найменших квадратів, метод інструментальних змінних, нормальний шум, рівномірний шум, пуасонівський шум, MatLab.

Вступ. В останні роки інтенсивно впроваджуються на промислових об'єктах інтелектуальні системи керування. Такі системи характеризуються можливістю оцінювати неспостережувані змінні процеси, прогнозувати стан процесу за наявного або обраного керування і автоматично синтезувати оптимальні стратегії керування. Ці завдання вирішуються із застосуванням математичної моделі процесу. Під математичною моделлю розуміють оператора зв'язку між функціями вхідних і вихідних сигналів процесу. Для створення системи керування на етапі ідентифікації треба передусім з'ясувати:

– який метод обрати для ідентифікації;
– як виконати збір даних;
– як використовувати зібрані у промислових умовах дані;
– як оцінити якість отриманого результата;
– як впливає точність отриманого результата на якість оцінювання неспостережуваних змінних стану об'єкта.

Під час створення системи керування на основі ідентифікаційної моделі виникне ще одне питання: як впливає точність отриманого результату на якість (критерій) керування [1]. Нині велику увагу приділяють якості технологічного процесу, що потребує розроблення математичної моделі цього процесу із заданою точністю. Зазвичай під час побудови математичної моделі процесу розробник не є спеціалістом з оброблення даних і використовує готові програмні продукти, наприклад, MatLab.

Постановка задачі. Якщо на вихідну змінну Y об'єкта ідентифікації впливає декілька факторів $x_1, x_2,\ldots,x_m$, то маємо справу з множинною регресією.

Досліджуваний процес описується так:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \mathbf{A}x + \mathbf{B}u; \\ y &= x + \varepsilon, \end{aligned} \tag{1}$$

де $\mathbf{A}$ – $n \times n$ matrix; $\mathbf{B}$ – $n \times m$ matrix.

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}; \qquad \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}.$$

Похибка ε є випадковим вектором з нульовим математичним сподіванням $\mu[\varepsilon] = 0$ і дисперсією σ^2. Вектор β – оцінка невідомих коефіцієнтів процесу (1).

Розв'язання задачі ідентифікації полягає у підборі таких числових значень невідомих коефіцієнтів процесу (рівняння (1)), за яких розв'язок задачі відповідав би вибраному критерію експериментальним даним, причому знайдені значення оцінок не повинні суперечити фізичному змісту і теоретичним міркуванням.

У пакеті MatLabToolbox для розв'язання задач ідентифікації використовуються такі методи:

– авторегресійний метод із зовнішнім вхідним оператором оцінки моделі;
– авторегресійний метод середніх із зовнішнім вхідним оператором оцінки моделі;
– авторегресійний оператор оцінки моделі;
– оператор оцінки моделі Бокса–Дженкінса;
– оператор оцінки загальної моделі і метод похибки прогнозування;
– модель Хамерстайна–Вінера;
– нелінійна авторегресійна ARX модель;
– нелінійна модель сірого ящика, оператор оцінки моделі – вихідної похибки.

Для аналізу ефективності запропонованих методів ідентифікації ставиться задача оцінки наведених методів згідно з критерієм

$$I = \sum_{i=1} (\mathbf{B} - \mathbf{B}_i)^2, \tag{2}$$

де $i = 1 \ldots m$.

Алгоритм розв'язання поставленої задачі. Для розв'язання поставленої задачі необхідно провести тестування наведених методів на основі використання тестувальної послідовності. Для генерації тестової послідовності необхідно:

1) задати вигляд рівняння (1). Наприклад, рівняння за одним, двома, трьома невідомими коефіцієнтами;
2) як перешкоду використати перешкоду із законами розподілу і заданими параметрами. Для реалізації перешкод з такими законами розподілу (нормальний, рівномірний, пуасонівський) використати MatLab;
3) генерацію тестування послідовності виконувати на основі рівняння (1).
4) на підставі отриманої тестової вибірки розв'язати задачу ідентифікації за вибраними методами;
5) на основі використаного критерію формули (2) оцінити ефективність методів.

Наведемо оцінку ефективності методів, якщо рівняння (1) набуде вигляду

$$\dot{x}(t) = -2x(t) + 0,2u(t).$$

У формі $\dot{x} = -ax + bu$ де $a = 2$, $b = 0,2$.

Застосуємо два входи:

1) ступеневу функцію Хевісайда;
2) $\sin(0,1t) + 2\sin(0,3t) + 0,5\sin(3t)$.

До виходу необхідно додати рівномірний, нормальний та пуасонівський шуми, інтервал часу [0:5]. Необхідно отримати дані для ідентифікації за допомогою ARX моделі та чотирьох методів зі 100 вимірюваннями.

Наступний MatLab M-file забезпечить ідентифікаційні дані:

```
num=[0 0,2];
  den=[1 2];
  H=tf(num,den);
  Hd=c2d(H,0.05);
  T=0:0.05:5;
```

```
   %step
U=ones(size(T));
   %sinewave
U=sin(0.1*T) + 2*sin(0.3*T) + 0.5*sin(3*T);
 [Y,T]=lsim(Hd,U,T);
x = 0:0.05:5;
   %for uniform pdf
noise = unifpdf(x, 3, 5);
   %for normal pdf
mu = 0;
sigma = sqrt(0.3);
noise=normpdf(x, mu, sigma);
   %for Poisson
noise=poisspdf(x,0.2);
gain=50;
out=noise'/gain + Y;
input=U';
z=[out,input];
nn=[1 1 1];
m=arx(z,nn);
present(m)
ARX model data
```

Для того щоб підрахувати результати, сконвертуємо дискретну модель до неперервної і знайдемо середнє й варіаційне *a* та *b*.

```
num=[0 0.0*****];
den=[1 -0.*****];
Hdis=tf(num,den,0.05);
H=d2c(Hdis)
….
%for step
%b(true)=0.2
bst=[0.2941 0.2357 0.2195 0.1879 0.1959 0.2295 0.2291 0.2291 0.227 0.2243 0.1511 0.1462 0.1558 0.1601 0.1678];
mean_b_step=mean(bst)
variance_b_step=var(bst)
%a(true)=2
ast=[2.956 2.315 2.136 1.783 1.86 2.306 2.297 2.306 2.272 2.237 1.488 1.436 1.535  1.661];
mean_a_step=mean(ast)
variance_a_step=var(ast)
   %for sinewave
%b(true)=0.2
b=[0.1756 0.2107 0.2205 0.2168 0.1884 0.2049 0.205 0.2038 0.2046 0.202 0.2046 0.2053 0.2065 0.2058 0.2073];
%a(true)=2
mean_b=mean(b)
variance_b=var(b)
a=[1.694 2.094 2.232 2.172 1.781 2.052 2.054 2.043 2.052 2.023 2.054 2.063 2.076 2.087];
mean_a=mean(a)
```

```
variance_a=var(a)
%all
b_all=[0.2941 0.2357 0.2195 0.1879 0.1959 0.2295 0.2291 0.2291 0.227 0.2243 0.1511 0.1462 0.1558 0.1601 0.1678 0.1756 0.2107 0.2205 0.2168 0.1884 0.2049 0.205 0.2038 0.2046 0.202 0.2046 0.2053 0.2065 0.2058 0.2073];
a_all=[2.956 2.315 2.136 1.783 1.86 2.306 2.297 2.306 2.272 2.237 1.488 1.436 1.535 1.661 1.694 2.094 2.232 2.172 1.781 2.052 2.054 2.043 2.052 2.023 2.054 2.063 2.076 2.087];
mean_b_all=mean(b_all)
variance_b_all=var(b_all)
mean_a_all=mean(a_all)
variance_a_all=var(a_all)
```

Для методу найменших квадратів отримали значення математичних сподівань та дисперсій:

```
mean_b=  0.2041
mean_b_step=  0.2035
mean_b_all =   0.2038
variance_b =   1.1138e-004
variance_b_step=  0.0017
variance_b_all =   8.8959e-004

mean_a =   2.0341
mean_a_step=  2.0420
mean_a_all =   2.0380
variance_a =   0.0191
variance_a_step=  0.1839
variance_a_all =    0.0978
```

Для методу інструментальних змінних:

```
mean_b=  0.2015
mean_b_step=  0.0564
mean_b_all =   0.1289
variance_b =   4.1022e-004
variance_b_step=  0.0170
variance_b_all =   0.0138

mean_a =   2.0071
mean_a_step=  1.0320
mean_a_all =   1.5737
variance_a =   0.0589
variance_a_step=  2.1108
variance_a_all =    1.0978
```

Тоді значення критерію з використанням методу найменших квадратів становить I= 0,0014, а значення критерію з використанням методу інструментальних змінних I= 0,005.

Отримано також ступеневі функції моделей і зроблено висновок про перевагу методу найменших квадратів для отримання найбільш точної моделі. Штрихова лінія показує степеневу функцію отриманої моделі, звичайна – початкової (рис. 1, 2).

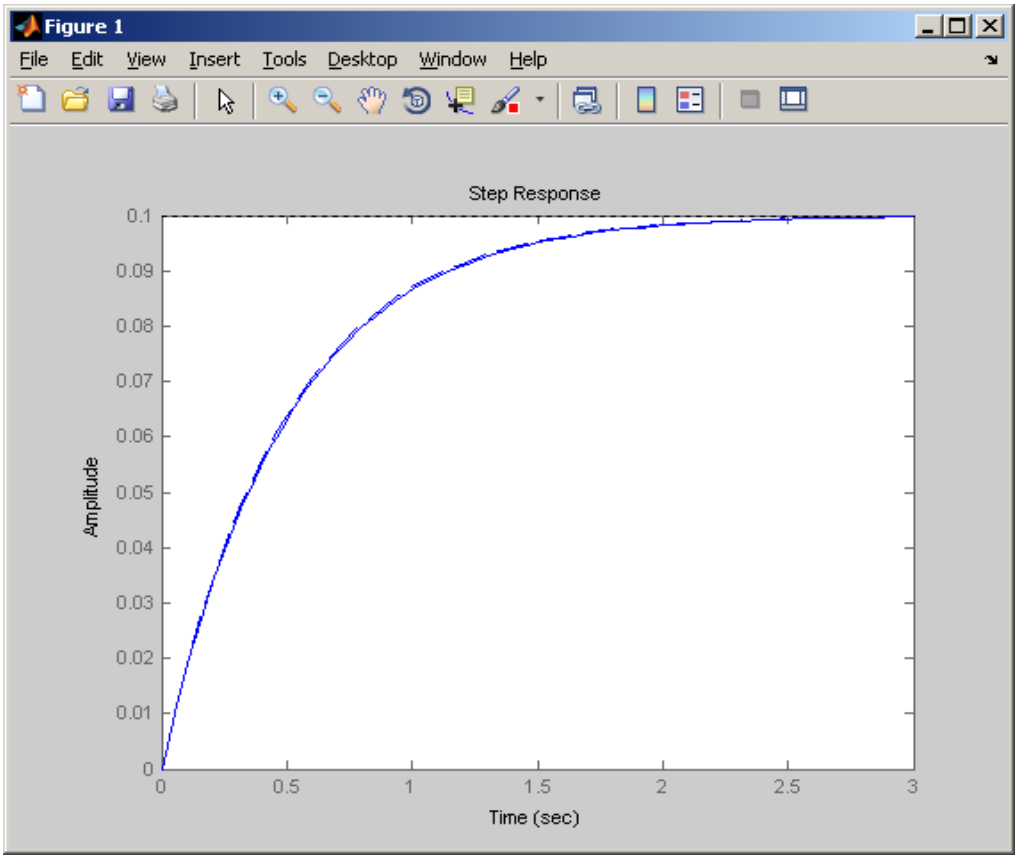

Рис. 1. Степеневі функції моделей, отримані з використання методу найменших квадратів

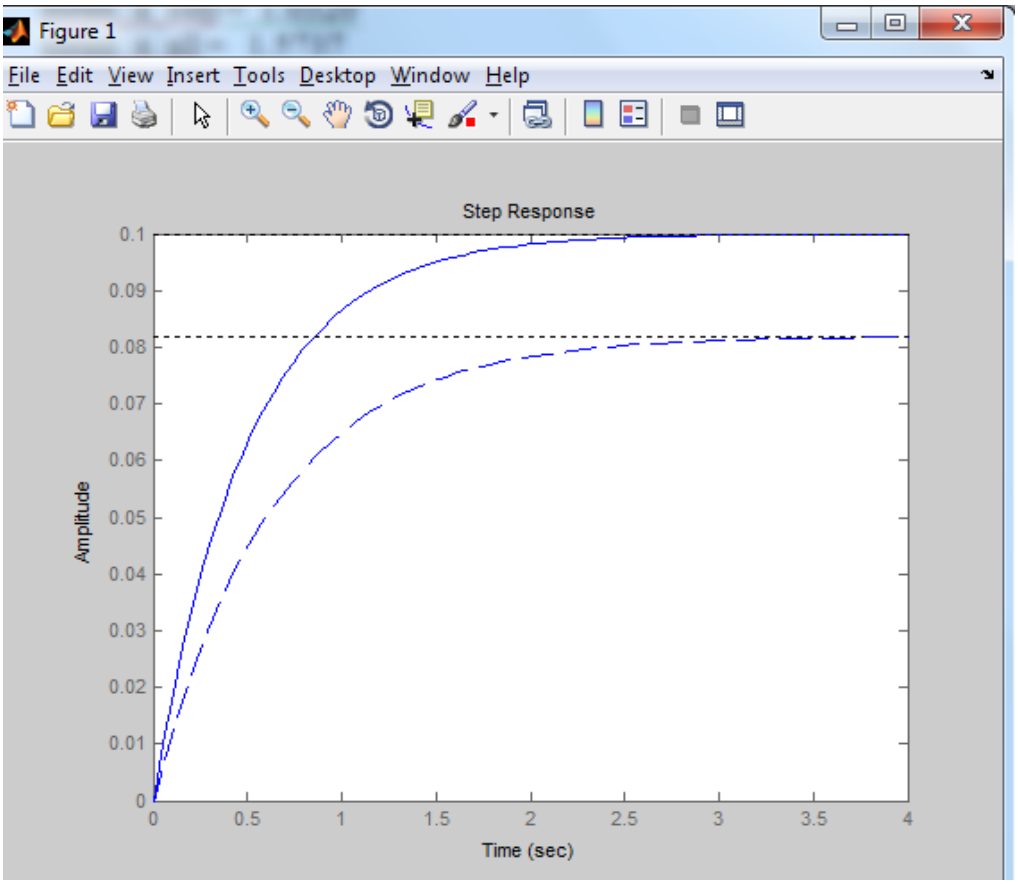

Рис. 2. Степенева та початкова функції отриманої моделі

Висновки. Порівнявши критерії двох використаних методів можна зробити висновок, що для функції такого типу метод найменших квадратів виявився найбільш придатним для одержання чіткої моделі. Виконані графіки демонструють надзвичайно точну модель. Чим більше вимірювань, тим точніша модель. Використовувати MatLab для оцінювання точності моделі дуже зручно і це не потребує великих часових затрат. Зручний та зрозумілий зовнішній інтерфейс і декілька зручних у застосуванні меню дозволяють швидко виконувати програмування. У майбутньому можна застосовувати для більш складних моделей.

Список літератури

Штейнберг Ш. Е. Идентификация в системах управления / Ш. Е. Штейнберг. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 80 с.

В. М. Синеглазов, М. С. Сторчак

Оценка эффективности методов идентификации на примере пакета MatLab

Выполнен обзор методов параметрической идентификации. Согласно анализу с помощью пакета MatLab сделан вывод об эффективности приведенных методов.

V. M. Sineglazov, M. S. Storchak

Evaluating the effectiveness of methods of identification for example MatLab package

A review of methods for parameter identification. According to analysis by using MatLab package conclusion about the effectiveness of the above methods.