

СЕКЦІЯ 2

УПРАВЛІННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

УДК 681.5.015

А.М. Сільвестров, д.т.н., професор, Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського»

Г.І. Кривобока, аспірант, Національний університет харчових технологій

Р.В. Захарченко, старший викладач, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ТЕСТУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕГРОВАНОГО МНК

Анотація. Рівень сучасних засобів вимірювання змінних стану і керування об'єктами в реальних умовах апріорної невизначеності, нестационарності і стохастичність зовнішніх і внутрішніх впливів дозволяє реалізувати адаптивні високоефективні керуючі системи за умови ліквідації невизначеності шляхом ідентифікації параметрів моделі об'єкта керування, яка досягається використанням інтегрованого методу найменших квадратів (ІМНК) [1] з оптимізацією його характеристик по зовнішніх критеріях [2].

Ключові слова: ідентифікація, метод найменших квадратів (МНК), інтегрований метод найменших квадратів (ІМНК), оптимізація.

Матеріали і методи. За умови отримання математичної моделі (ММ) адекватної об'єкту, завдання оптимального керування ним не є проблемою. Проблема існує в отриманні незміщеної і достатньо ефективної оцінки вектора β параметрів ММ в реальних умовах апріорної невизначеності і квазістационарності вектора β та стохастичності похибок у вимірюванні вектор-функції $X(t)$ змінних стану об'єкта. В обмеженій просторово-часовій області ММ об'єкта можна подати як лінійну стационарну

$$\frac{dx}{dt} = Y(t) = X(t) \cdot \beta, \quad (1)$$

де виміри змінних $Y(t)$, $X(t)$ викривлені випадковими шумами $N_y(t)$ і $N_x(t)$.

В такій ситуації МНК-оцінка

$$\hat{\beta}_{\text{МНК}} = (X^T(t)X(t) + N_x^T(t)N_x(t))^{-1} \cdot (X(t) + N_x(t))^T \cdot (Y(t) + N_y(t)) \quad (2)$$

буде зміщеною внаслідок додання $N_x^T(t)N_x(t)$ і недостатньо ефективною, внаслідок мінімізації (усередненого на обмеженій часом T вибірці даних) квадрата $\varepsilon^T \varepsilon$ похибки

$$\varepsilon(t) = (Y(t) + N_y(t)) - (X(t) + N_x(t)) \cdot \beta. \quad (3)$$

В більшості реальних ситуацій випадкові похибки і збурення мають значно коротшу автокореляційну функцію ніж корисні складові сигналів. Тоді заміна в МНК $\varepsilon^T \varepsilon$ на зважений ваговою функцією $\eta(\tau)$ інтегральний кореляційний показник

$$I = \int_{-\tau_m}^{\tau_m} \eta(\tau) \int_0^T \varepsilon(t) [\varepsilon(t + \tau) + \varepsilon(t - \tau)] dt d\tau \quad (4)$$

призводить (за відповідної форми $\eta(\tau)$) до зменшення розкиду оцінки $\hat{\beta}_{\text{ІМНК}}$ і ліквідації її зміщення [1]. Так якщо

$$\eta(\tau) = (1 + |\tau|)^\theta \cdot (1 - \cos \frac{\pi|\tau|}{\tau_m})^\gamma, \quad (5)$$

то, за відповідних θ та γ , які оптимізуються за зовнішніми критеріями, наприклад, незміщеності і регулярності [2], в реальних умовах невизначеності характеристик $N_x(t)$, $N_y(t)$ можна отримати достатньо якісні оцінки $\hat{\beta}_{\text{ІМНК}}$ вектора β ММ об'єкта.

Тестування і порівняння ІМНК і МНК проводилося на двомірній по β моделі (1) з одиничними компонентами β_1 та β_2 вектора β і сильно корельованими сигналами: $x_1 = \sin 0.002\pi k$, $x_2 = \sin(0.002\pi k + 0.5)$ $k = 1, 1000$; $k\Delta t = t_k$, “білими” і “кольоровими” шумами $N_x(t_k)$, $N_y(t_k)$ одиничної дисперсії. В ситуації ідеальній для МНК ($N_y(t) = 0$, “білий шум”, $N_x(t) = 0$) оцінки $\hat{\beta}_{\text{МНК}}$ і $\hat{\beta}_{\text{ІМНК}}$ незміщені, але розкид оцінок $\hat{\beta}_{\text{МНК}}$ приблизно в 2 рази більший від $\hat{\beta}_{\text{ІМНК}}$. В ситуації, що моделює реальну, оцінки $\hat{\beta}_{\text{МНК}}$ зміщено на 100%, хоч розкид їх (0,02, 0,05) (внаслідок регуляризуючої домішки $N_x^T(t)N_x(t)$ в (2)) менший ніж в ІМНК. Оцінки $\hat{\beta}_{\text{ІМНК}}$ незміщені, але розкид їх дещо більший (0,05; 0,1). Метод ІМНК було використано в підсистемі ідентифікації ММ прямих і перехресних зав’язків “вхід-вихід” каналів вологості і температури зерносушарки з метою розв’язання і адаптивного, ідентичного до еталонного керування процесом сушіння зерна [3].

Висновок. За відповідної оптимізації вагової функції (5) по зовнішньому критерію [2] ІМНК дозволяє отримати незміщені і достатньо ефективні оцінки вектора β ММ (1) в ситуації невизначеності характеристик шумів у вимірних змінних $X(t)$.

Література

1. Сільвестров А.М., Самсонов В.В. Нариси з теорії ідентифікації. – К.: НУХТ, 2012. – 220 с.
2. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. Киев: Издательство «Техніка»: Редакция литературы по энергетике, электронике, кибернетике и связи, 1975, 300 с.
3. Сільвестров А.М., Кривобока Г.І., Захарченко Р.В. Дослідження інтегрованого методу ідентифікації // Системи управління, навігації та зв’язку. Збірник наукових праць / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Полтава. – 2017. – Випуск 2 (42). – С. 55–56.