

Лекція 5. Ідентифікація пристроїв та систем управління

План лекції:

1. Ідентифікація складних технічних систем. Основні визначення. Постановка задачі.
2. Ідентифікація структури та параметрів математичних моделей складних технічних систем.
3. Статичні моделі. Регресійний аналіз.
4. Методи ідентифікації. Метод максимальної правдоподібності. Метод найменших квадратів.
5. Спектральні та кореляційні характеристики сигналів в складних технічних системах.
6. Ідентифікація динамічних характеристик систем. Методи на основі кореляційних функцій.

1. Ідентифікація складних технічних систем. Основні визначення. Постановка задачі.

Ідентифікація систем - сукупність методів для побудови математичних моделей динамічної системи за даними спостережень. Математична модель у цьому контексті означає математичний опис поведінки будь-якої системи чи процесу частотної чи часової області, наприклад, фізичних процесів (рух механічної системи під впливом сили тяжкості), економічного процесу (реакція біржових котирувань на зовнішні обурення) тощо.

Базується на наборі даних, отриманих в результаті нормальної роботи об'єкта, що вивчається, або при цілеспрямованому експерименті. Інформація про вхід і вихід зазвичай записується протягом заздалегідь спланованого ідентифікаційного експерименту, під час якого дослідник може вибрати які вимірювати сигнали, коли їх вимірювати і які вхідні сигнали використовувати. Планування експериментів може підказати, як зробити експериментальну інформацію найінформативнішою з урахуванням тих обмежень, які можуть бути накладені на експеримент.

При ідентифікації передбачається експериментальне вивчення та зіставлення вхідних та вихідних процесів, і завдання ідентифікації полягає у виборі відповідної математичної моделі. Модель повинна бути такою, що її реакція та реакція об'єкта на той самий вхідний сигнал повинні бути, у певному сенсі, близькими. Результати розв'язання задачі ідентифікації є вихідними даними для проектування систем керування, оптимізації, аналізу параметрів систем тощо.

Застосовують такі методи:

- 1) Методи, побудовані на штучному впливі на систему неперіодичним сигналом, потужність якого велика в порівнянні з рівнем перешкод у системі. Як вплив вибирається зазвичай стрибкоподібна зміна регулюючого впливу, і в результаті визначаються часові характеристики.
- 2) Методи, побудовані на штучному впливі на систему періодичними сигналами різної частоти, амплітуда яких велика порівняно з рівнем перешкод у системі. Внаслідок цього визначаються частотні характеристики.

3) Методи, побудовані на штучному впливі на систему синусоїдальними сигналами, порівнянними з перешкодами в системі. У результаті визначаються частотні характеристики.

4) Методи, які потребують штучних впливів, використовують обурення, які у процесі нормальної експлуатації.

Інші значення терміну

Ідентифікація в інформаційній безпеці — процедура розпізнавання користувача в системі, як правило, за допомогою наперед визначеного імені (ідентифікатора) або іншої апріорної інформації про нього, яка сприймається системою.

Ідентифікація особи – встановлення особи шляхом порівняння наданих даних (параметрів), у тому числі біометричних, з наявною інформацією про особу в реєстрах, картотеках, базах даних тощо.

Системи оптичної ідентифікації, оптичні зчитувачі. Оптична ідентифікація дозволяє здійснювати комплексне відстеження продукції і компонентів на етапах виробництва, поставки, транспортування і продажу.

Автоматична відеоідентифікація: розпізнавання автомобільних номерів та розпізнавання номерів залізничних вагонів, розпізнавання осіб, розпізнавання предметів, розпізнавання та верифікація (порівняння з еталоном) предметів.

RFID технологія радіочастотної ідентифікації (Radio Frequency Identification): перепустки систем доступу, для товарів і упакування продукції, автоматична ідентифікаційна система транспорту, об'єднана з GPS приймачем.

Модель системи

Модель системи $G(q, \theta)$ описує механізм перетворення вхідного сигналу вихідний через елементи вектора параметрів θ , визначеним на безлічі допустимих значень Θ .

Модель фільтра

Модель фільтра $H(q, \theta)$ описує механізм перетворення шуму вимірювальний канал через елементи вектора параметрів θ , визначеним на безлічі допустимих значень Θ .

Повна модель системи

Повна модель системи це комбінація моделі системи та моделі фільтра, тобто:

$$T(q, \theta) = G(q, \theta), H(q, \theta)$$

Повна стохастична модель

Повна стохастична модель системи – це повна модель системи та функції щільності розподілу ймовірності шуму $e(t)$, тобто:

$$T(q, \theta), f_e(x)$$

Структурна та параметрична оптимізація

Непараметрична ідентифікація

Оцінка часових та частотних характеристик динамічних систем без параметризації моделі, що чисельно відповідає визначенню вектора значень шуканої характеристики.

Види непараметричної ідентифікації:

1) тимчасові характеристики:

- метод імпульсного впливу;
- метод ступінчастої дії;
- кореляційний метод;

2) частотні характеристики:

- метод синусоїдальної дії;
- кореляційний метод.

У найпростішому випадку функціональною моделлю ІВС є модель «чорна скринька», в якій спостерігачу доступні входи та виходи системи, а внутрішня структура невідома. Функціональна модель дозволяє визначити виходи системи при відомих входах та впливах зовнішнього середовища.

Лінійною динамічною математичною моделлю функціонування системи в даному випадку є лінійне звичайне диференціальне рівняння

$$a_n y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_1 y' + a_0 y = x(t),$$

де $y(t)$ – невідома функція, що описує динаміку зміни сигналу на виході системи, $x(t)$ – функція в правій частині рівняння, що є єдиним доданком, який не залежить від невідомої функції $y(t)$, в даному випадку – вхідний сигнал системи, t – незалежна змінна, в даному випадку – час, n – порядок диференціального рівняння.

Якщо $x(t)=0$, то маємо вільний рух системи, обумовлений тільки її внутрішніми процесами, в іншому випадку – це вимішений рух системи під дією вхідного сигналу.

Дану математичну модель можна записати в форматі передаточної функції системи

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)},$$

де $Y(p) = L(y(t)) = \int_0^{\infty} y(t) e^{-pt} dt$, $X(p) = L(x(t)) = \int_0^{\infty} x(t) e^{-pt} dt$ – перетворення

Лапласа для вихідного і вхідного сигналів відповідно.

2. Ідентифікація структури та параметрів математичних моделей складних технічних систем.

Формалізація та ідентифікація математичних моделей

Формалізація – це представлення та вивчення деякої галузі знань чи об'єкту у вигляді формальної системи, вільної від властивостей конкретних екземплярів цього об'єкту. Формалізація є першим етапом переходу від об'єкту-оригіналу до його математичної моделі.

Ідентифікація – це процедура ототожнювання моделі та конкретного екземпляру об'єкту-оригіналу. Здійснюється шляхом побудови математичної моделі за реалізаціями вхідних і вихідних сигналів цього об'єкту.

Ідентифікація включає вибір: класу математичної моделі; типу вхідних сигналів; критеріїв відповідності моделі і об'єкту; метода і чисельного алгоритму рішення.

Структурна ідентифікація включає такі завдання:

1. Виділення об'єкту з навколишнього та взаємодіючого з ним середовища.
2. Ранжування входів і виходів об'єкту за рівнем їхнього впливу на поведінку об'єкту.
3. Визначення оптимального числа входів та виходів об'єкту, що враховуються в моделі.
4. Визначення характеру зв'язків між входами та виходами моделі об'єкту.

У вузькому сенсі параметрична ідентифікація полягає у визначенні оптимальних параметрів об'єкту для наявної математичної моделі. Критерій оптимальності – найкраще наближення вихідної реакції моделі до вихідної реакції об'єкту на заданий вхідний сигнал. Наявність збурюючих впливів та похибок вимірювань сигналів суттєво ускладнює цю задачу.

При ідентифікації передбачається експериментальне вивчення та зіставлення вхідних та вихідних процесів. Завдання ідентифікації полягає у виборі відповідної математичної моделі. Модель повинна бути такою, що її реакція та реакція об'єкта на той самий вхідний сигнал повинні бути, у певному сенсі, близькими. Результати розв'язання задачі ідентифікації є вихідними даними для проектування інформаційно-вимірювальних систем, систем керування, оптимізації, аналізу параметрів систем тощо.

Параметрична ідентифікація дискретних систем

Визначення параметрів різницевого рівняння:

$$m x[k] + b x[k - 1] + k x[k - 2] = u[k]$$

Визначення параметрів передавальних функцій:

Визначення матриць $A(k)$, $B(k)$, $C(k)$, $D(k)$, G , H :

$$x(k + 1) = A(k) x(k) + B(k) u(k) + G \omega(k)$$

$$y(k) = C(k) x(k) + D(k) u(k) + H v(k)$$

Параметрична ідентифікація безперервних систем

Визначення параметрів диференціальних рівнянь:

$$m \dot{x} + b x + k x = u(t)$$

Визначення параметрів передавальних функцій:

Визначення матриць $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$, $D(t)$, G , H :

$$\dot{x}(t) = A(t) x(t) + B(t) u(t) + G \omega(t)$$

$$y(t) = C(t) x(t) + D(t) u(t) + H v(t)$$

3. Статичні моделі. Регресійний аналіз.

Ідентифікація статичних характеристик одновхідних об'єктів

Статичні характеристики - це набори значень, що встановилися (набори стаціонарних станів).

Для експериментально одержаних табличних статичних характеристик визначають рівняння регресії:

$$y=f(x). (1)$$

Часто рівняння регресії задають як полінома:

$$y=a_0+a_1x+a_2x^2+...+a_nx^n (2)$$

де x або y можуть бути також елементарними функціями від табличних значень входу і виходу (ex , $lg(x)$, $ln(x)$, $1/x$)

Завдання ідентифікації: задавшись видом рівняння регресії $y=f(x)$, визначити його невідомі коефіцієнти з умови, що задана рівнянням крива з достатньою точністю описуватиме експериментальну характеристику.

Як критерій відповідності при вирішенні даного завдання беруть критерій виду:

$$\min(F_{ai}), (3)$$

, де ue_j - експериментальне значення;

ur_j – розрахункове значення.

Для знаходження коефіцієнтів a_i становлять рівняння:

$$(4)$$

Отже, виходить система рівнянь, вирішуючи яку можна визначити a_i .

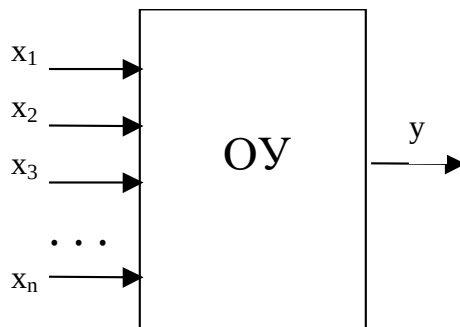
У конкретному випадку, для вибору виду полінома використовують графічне уявлення експериментальної вибірки, а також апіорні непрямі дані. Проте, універсальних методик тут немає.

Ідентифікація статичних характеристик багатовхідних об'єктів

Багатовхідний об'єкт можна подати у вигляді "чорної скриньки".

Потрібно визначити вихід як функцію значень входів:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$



Виникає питання: "Як створити експериментальну вибірку?"

Для таких об'єктів є поняття повного факторного експерименту.

У термінах цього методу кожен вхід інакше називають "фактором", а значення виходу - "відгуком".

Побудова математичної моделі об'єкта може здійснюватися кількома методами: аналітичним, експериментальним та експериментально-аналітичним.

Аналітичний метод передбачає отримання математичного опису об'єкта з урахуванням законів фізики, механіки, хімії тощо. Такий підхід дає позитивний результат, якщо об'єкт, що розглядається, досить простий за структурою і добре вивчений. Якщо ж об'єкт вивчений недостатньо або настільки складний, що аналітичний опис його математичною моделлю практично неможливо, вдаються до експериментальних методів, суть яких зводиться до статистичної обробки технологічних даних. При експериментально-аналітичному методі

априорна модель, одержана аналітичним шляхом, уточнюється у відповідних експериментах.

Серед зовнішніх впливів виділяють: $U(t)$ – входні дії, $N(t)$ – збурювальні дії. $Y(t)$ – вихідні сигнали, що спостерігаються.

Основними завданнями ідентифікації є:

1. Завдання знаходження параметрів (параметрів) об'єкта.

За відомими змінними $U(t)$, $Y(t)$ потрібно визначити оператори (або параметри операторів) системи.

2. Завдання оцінювання змінних станів.

Стан об'єкта характеризується вектором змінних стану $X(t)$. За відомими сигналами $U(t)$, $Y(t)$ при відомих операторах системи потрібно визначити (оцінити) сигнал $X(t)$.

3. Завдання генерації випадкових сигналів із заданими характеристиками чи визначення характеристик випадкових сигналів.

Завдання ідентифікації включає такі етапи:

- сформулювати вимоги до даних спостережень: як виконати збирання експериментальних даних, як використовувати ці дані, зібрані в реальних умовах проведення експерименту [5];

- визначити клас об'єктів – сукупність моделей-кандидатів, з якої згодом буде відібрано найкращу модель;

- сформувати так звану функцію втрат або ризику (критерій оптимальності), що характеризує адекватність об'єкта та моделі, що налаштовується, і на її основі сформулювати критерій якості ідентифікації;

- вибрати спосіб оцінки ступеня відповідності досліджуваної моделі експериментальним даним;

- визначити процедуру верифікації моделі: провести перевірку та підтвердження адекватності моделі, тобто. з'ясувати, якою мірою модель дійсно «пояснює» поведінку системи, що вивчається.

Класифікація методів ідентифікації

Різні способи ідентифікації значно залежить від різних форм представлення математичних моделей: звичайних диференціальних, різницевих рівнянь, рівнянь згортки і т.д. При цьому жоден із методів ідентифікації не є універсальним для ідентифікації всіх видів математичних моделей, а використовується в окремих сферах застосування.

1. З постановки експерименту:

- Активні методи ідентифікації.

- Пасивні методи ідентифікації.

2. За наявності априорної інформації про об'єкт управління:

- Методи структурної ідентифікації.

- Методи параметричної ідентифікації.

3. Залежно від критерію ідентифікації, що використовується:

- Метод найменших квадратів.

- Марківські оцінки (або узагальнений метод найменших квадратів).

- Метод максимальної правдоподібності.

4. За схемами реалізації алгоритму ідентифікації:

- Явні схеми.

- Схема з моделі, що налаштовується.

5. За основними системними ознаками математичної моделі:

- Фізичні (натурні) та математичні (символьні).
- Одномірні та багатовимірні.
- Статичні або динамічні.
- Лінійні чи нелінійні.
- Стаціонарні чи нестаціонарні.
- Дискретні чи безперервні.
- Детерміновані чи стохастичні.
- Зосереджені та розподілені.

Структурна ідентифікація

Структурна ідентифікація, ідентифікація у сенсі, ідентифікація типу «чорний ящик», має місце за відсутності апріорної інформації про об'єкт: невідомі структура об'єкта, клас об'єкта, розмірність тощо. Головне завдання структурної ідентифікації – визначення структури моделі. У рамках структурної ідентифікації необхідно виділити значні змінні стани, вибрати загальну структуру та тип моделі, клас рівнянь, якими передбачається описувати спостережуваний процес; виділити значні. Для успішного вирішення завдання структурної ідентифікації потрібно використовувати апріорні відомості про фізичні, хімічні чи інші явища, що відбуваються в процесі, знання формальних аналітичних властивостей моделей, інженерні навички та інтуїцію. До цього часу загальних формальних підходів до вирішення завдання структурної ідентифікації немає, і етап структурної ідентифікації часто зводиться до евристичного завдання структури моделі з урахуванням апріорних відомостей про об'єкт.

Розв'язання задач структурної ідентифікації:

1. Виділення об'єкта із зовнішнього середовища.

Як правило, модель у першому наближенні - це модель, побудована на основі фізичних, хімічних, механічних та інших законів управління.

2. Ранжування входів і виходів об'єкта за рівнем їхнього впливу виконання цілей системи.

Етап ранжирування входів та виходів об'єкта виявляє всіляких претендентів на роль входів та виходів, виділяючи з них найбільш суттєві. Змінні мають бути контрольованими. Ранжування здійснюється методами експертної оцінки, методом парних порівнянь.

3. Визначення раціонального числа входів та виходів об'єкта, що враховуються в моделі.

Також здійснюється на основі експертних оцінок. Вибір починається з мінімальної кількості входів та виходів, і шляхом нарощування вибирається адекватна модель.

4. Визначення типу (класу) моделей.

Починати побудову необхідно з фізичної моделі, не забуваючи про мету побудови моделі, підбираючи лінійну модель.

5. Визначення характеру зв'язків між входами та виходами моделі об'єкта.

6. Вибір критерію згоди.

Модель об'єкта завжди неточна. Неточність моделі щодо об'єкта визначається функцією нев'язки. Мінімізацію критерію можна здійснити методом найменших квадратів.

Параметрична ідентифікація

Методи оцінювання параметрів моделей об'єктів у випадку можна розділити на два класу залежно від способу реалізації процедури оцінювання. До першого типу відносяться підходи на основі використання явних математичних виразів, до другого – реалізації процедур оцінювання з використанням моделі, що налаштовується.

При реалізації методів оцінювання першого типу математична модель задається у вигляді явних математичних співвідношень, що містять набір числових коефіцієнтів, що підлягають визначенню.

На об'єкті проводяться ідентифікаційні експерименти зі збирання масивів вхідних $U(t)$ та вихідних $Y(t)$ даних. Далі здійснюється обробка результатів. На основі отриманих експериментальних даних будується модель, що забезпечує мінімальне значення функціоналу $J(Y, Y_m, A_m)$. Процедура ідентифікації проводиться над реальному часі, а після збору всіх даних.

За реалізації методів оцінювання другого типу використовується принцип підстроювання моделі до об'єкта за ознаками близькості поведінки. У цьому випадку модель об'єкта дослідження, представлена параметрами A_m змінюється таким чином, щоб характеристики моделі були близькі до характеристик досліджуваної системи. Оптимальні процедури оцінювання параметрів A_m у цьому випадку зводяться до вирішення рівняння $dJ/dA_m \rightarrow 0$. Може проводитись у реальному часі.

Ідентифікація лінійної регресійної моделі

Найбільш поширеним методом оцінювання параметрів, що є базовим підходом до параметричної ідентифікації, є метод найменших квадратів, який у припущенні лінійності та дискретності в часі об'єкта призводить до найбільш

простих та універсальних рішень. Завдання полягає в наступному: за наявними вибірковими даними спостережень за вхідними та вихідними сигналами потрібно оцінити значення параметрів, що забезпечують мінімум величини функціоналу нев'язки між модельними та фактичними даними:

$$J = E T I E \rightarrow \min,$$

де функція нев'язки $E = Y - Y_m$ являє собою різницю між виходом досліджуваного об'єкта Y і реакцією, обчисленою за математичною моделлю об'єкта Y_m . Нев'язка складається з неточностей структури моделі, похибок вимірів та неврахованих взаємодій середовища та об'єкта. Однак, незалежно від походження помилок, що виникають, МНК мінімізує суму квадратичної нев'язки значень.

Важливою властивістю оцінок МНК є існування лише одного локального мінімуму, що збігається з глобальним. Тому оцінка A_m є єдиною. Її значення визначається з умови екстремуму функціоналу $dJ/dA_m=0$.

Оцінювання лінійної системи методом найменших квадратів називається лінійним регресійним аналізом завдяки лінійному оператору моделі.

Ідентифікація динамічних систем

В основі ідентифікації динамічних систем лежить опис систем у вигляді диференціального рівняння та передавальної функції.

Ідентифікація нелінійних систем

Найбільш поширені такі методи:

1. Метод прямого пошуку.

Нелінійну функцію перетворюють на лінійну функцію. Далі застосовують будь-який метод ідентифікації лінійних систем.

2. Апроксимація нелінійності поліномом.

Апроксимація за допомогою полінома зручна, якщо значення нелінійної функції отримані експериментально.

3. Модель Гаммерштейна.

Відповідно до моделі Гаммерштейна нелінійна система наводиться до послідовного з'єднання нелінійної та лінійної динамічної ланок.

Програмні засоби ідентифікації та моделювання систем

Пакет System Identification Toolbox містить засоби для створення математичних моделей динамічних систем на основі вхідних і вихідних даних, що спостерігаються. Він має гнучкий графічний інтерфейс, що допомагає організувати дані та створювати моделі. Методи ідентифікації, що входять у пакет, застосовні для вирішення широкого класу завдань: від проектування систем керування та обробки сигналів до аналізу часових рядів та вібрації.

Графічний інтерфейс спрощує попередню обробку даних, і навіть діалоговий процес ідентифікації моделі. Можлива також робота з пакетом у командному режимі та із застосуванням розширення Simulink. Операції завантаження та збереження даних, вибору діапазону, видалення зсувів та трендів виконуються з мінімальними зусиллями та знаходяться у головному меню.