

IDENTIFIKÁCIÓS MÓDSZEREK HASZNÁLATA JÁRMŰVEK ÜZEMI ÉS ÜZEMELTETÉSI JELLEMZŐINEK A MEGHATÁROZÁSÁRA

ROHÁCS József

Budapesti Műszaki Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar
Járműgépészeti Intézet

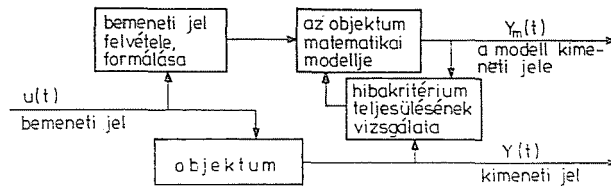
Járművek tervezésének, üzemeltetésének további korszerűsítése, valamely szempontok (pl. üzemanyag-fogyasztás csökkentése) szerinti optimalizálása két lényeges probléma megoldását teszi szükségessé. Egyrészt, pontosan ismerni kell a járműveknek az üzemeltetés folyamán a felhasznált szerkezeti anyagok fizikai-kémiai tulajdonságai, a tervezési, gyártástechnológiai viszonyok és az üzemeltetési körülmények által determinált sztochasztikus folyamatok szerint változó tényleges jellemzőit. Másrészt, meg kell határozni a karbantartó, kiszolgáló, ellenőrző, javító gépekre, szervezetekre, emberekre épülő üzemeltetési rendszernek, mint a járművek rendeltetés szerinti használata, tárolása, szállítása, karbantartása, javítása diszkrét állapotokból álló komplex üzemeltetési folyamatnak az üzemeltetési objektumra (járművekre) gyakorolt tényleges hatását. Mindkét feladat lényegében sztochasztikus mezőbeni értékelési probléma. Vagyis a tényleges üzemi és üzemeltetési jellemzők lényegében nem határozhatók meg. Értékelésük, becslésük identifikációs módszerek alkalmazásával lehetséges.

Az identifikáció

Az üzemeltetési eljárások, körülmények egysége, a járművek, azok egyes funkcionálisan kapcsolódó csoportjai, vagy akár egyes csomópontjai is felfoghatók mint vizsgálati rendszerek. A tényleges jellemzőkre ezen rendszerek dinamikájára vonatkozó ismereteink kiterjesztése érdekében van szükség.

Az identifikáció meghatározott rendszerek (modellek) osztályából olyan rendszer kiválasztása a rendszer (objektum) be- és kimenő jelei alapján, amely ekvivalens a vizsgált rendszerrel [1]. A rendszer „ekvivalensségét” hibakritérium, vagy veszteség-függvény segítségével lehet vizsgálni. Az identifikációs eljárás megvalósításának menetét tükrözi az 1. ábra.

Az identifikáció lényegében azonosítás. Paraméter azonosításról beszélünk, ha az objektum dinamikáját jellemző paramétereket; s állapot azonosításról, ha olyan változót (vektor) határozunk meg, amely ismeretében az objek-



1. ábra. Az identifikáció megvalósításának elve

tum bemenő jele alapján meg lehet állapítani annak „viselkedési formáját” [2]. Mindkét esetben — természetesen — rendelkezni kell megfelelő mennyiségű apriori információval az objektum szerkezetéről és működéséről. Csak így lehet létrehozni az objektum matematikai modell-rendszerét, amelyből aztán azonosítani lehet az ekvivalens modellt.

Az identifikáció egy komplex módszer, amely a klasszikus matematika (függvénytan, differenciál egyenletrendszerek, lineáris algebra, mátrix-elmélet), a valószínűségszámítás, a matematikai statisztika, sztochasztikus folyamatok elméletei, a visszacsatolással rendelkező rendszerek irányításelmélete, s az analóg és digitális technika alkalmazásával éri el céljait [1, 3].

Az identifikáció célja

Az identifikáció gyakorlatilag bármilyen objektum esetében vizsgálati módszer lehet. Így társadalmi változások, társadalmi fejlődés, vállalati gazdálkodási, irányítási rendszerek, biológiai változások, technológiai folyamatok stb. is tanulmányozhatók ilyen formán. Az identifikációs eljárások használatának legnagyobb jelentősége a közlekedési eszközök (űrhajók, repülőgépek, hajók, vonatok, autók stb.) dinamikájának a vizsgálatában van.

Az identifikációs eljárás alkalmazása többféle célt is szolgálhat. A fontosabb célok a következők:

1. Vizsgálat. (A számítási eredmények más, további feladatok megoldását segítik elő. Pl. diagnosztika, üzemeltetési rendszer fejlesztése.)
2. Tervezés. (Optimális rendszerek kialakítása, gazdaságosabb modell keresése.)
3. Irányítás-vezérlés. (Adaptív vezérlő rendszerek, optimális irányítás megoldása.)
4. Modellezés. (Tervezés alatt álló rendszerek vizsgálata, kritikus esetek, meghibásodások hatásainak, indítási és kifutási üzemmódoknak a tanulmányozása.)
5. Vizsgálatok tervezése. (Kísérleti próbajáratások üzemmódjainak, pl. repülőgépek berepülési programjainak a meghatározása.)

6. Előírások alkalmassági vizsgák készítésére (Műszaki vizsgák követelményrendszerének, különösen repülőgépek légi-alkalmassági előírásainak és vizsgálati módszereinek a meghatározása.)

Az identifikáció, vagyis a tényleges jellemzők meghatározásának a célja döntően befolyásolja az identifikációs módszer kiválasztását. Mindemellett azonban egy sor kérdést is tisztázni kell. Ilyeneket [1], mint pl.: Milyen modellt kívánunk létrehozni — statikust, dinamikust, lineárist, nem lineárist? Lehet-e reális időben felépíteni a modellt? Lehet-e folyamatosan vizsgálni a modellt? Milyen gazdasági, vagy más mutatókat kell figyelembe venni? Mennyi apriori információ áll rendelkezésünkre? Mérhetők-e — igen, igen, de zajjal együtt, nem — a be- és kimeneti jelek? Mi a hiányzó információk megszerzésének optimális módja? . . . E kérdések megválaszolása után lehet csak kiválasztani az identifikáció megvalósításának módját.

Identifikációs módszerek

A járművek tényleges üzemi és üzemeltetési jellemzőinek a meghatározására főképpen a következő ismert matematikai módszerekre épülő identifikációs eljárások [1, 3, 4, 5] alkalmazhatók:

— Speciális bemeneti jelek (lépcsős, impulzus, vagy szinuszos függvények) alkalmazása. (Egy bemeneti jel hatásának kitett lineáris, stacionáris folyamatokhoz alkalmazható. Használható olyan esetekben is, amikor a több bemeneti jel egymástól jól elkülöníthető.)

— A legkisebb négyzetek módszere. (Stacioner, és az idő függvényében csak lassan változó paraméterekkel rendelkező instacioner rendszerek esetében szokás alkalmazni. Felhasználható úgy diszkrét, mint folytonos rendszerek vizsgálatára. Alkalmazására többnyire akkor kerül sor, ha a vizsgálandó modell viszonylag egyszerű, vagy ha az objektum azonosítandó paramétereiről, a sztochasztikus véletlen folyamat jellemzőiről kevés apriori információ áll rendelkezésre.)

— Regressziós eljárások. (Lehetőséget teremtenek egyszerre több bemeneti jel hatása alatt álló rendszerek paramétereinek az azonosítására. Rekurrens függvények alkalmazásával az identifikáció pontossága tovább növelhető.)

— Identifikáció a maximális hasonlóság elve szerint. (Alkalmazása bonyolult rendszerek esetében indokolt. Lényege, hogy a hibakritérium minimalizálásával a modell és a valódi rendszer maximális hasonlóságára törekszik. Használatához apriori információval kell rendelkezni a mérendő jelekről.)

— Identifikáció a maximális aposzteriális valószínűség alapján. (Diszkrét azonosítási modell, melyben a hibakritériumot a mérési eredmények Bayes szerinti [2] aposzteriális valószínűségek sűrűsége alapján maximalizált érték jellemzi.)

— Kálmán szűrő alkalmazása. (A méréseket zavaró „fehér zaj” jellemzőinek az állapotter-beli apriori ismeretében viszonylag kis számítástechnikai kapacitással is igen jó eredményeket nyújtó módszer.)

— Bonyolult rendszerek esetében egyszerűbb és könnyebben kezelhető eljárások az indirekt módszerek: gradiens módszer, önszabályzó eljárás, ismételt indentifikáció, prognosztizációs eljárás stb.

Repülőgépek tényleges jellemzőinek a meghatározása identifikációs módszerekkel

A repülőgépek mozgását derékszögű, függőlegesen szimmetrikus, sebességi (sebesség irányához kötött, a repülőgép súlypontjába helyezett) koordináta rendszerben bizonyos, általánosan elfogadott egyszerűsítések [6] mellett (a hajtómű tolóereje az XOZ síkkal párhuzamos síkban található, a repülőgép tömege állandó, a giroszkopikus, és a corioliszi erőket elhanyagolva, a repülőgépet inercionális-tömeg-szimmetrikus [$I_{xz} = I_{yz} = 0$] merev testként felfogva), az oldal- és a hosszirányú zavart mozgásokat szétválasztva pl. a rövid periodikus hossz-dinamikai stabilitás vizsgálatára a következő egyszerű formában is kifejezhető öt paramétert tartalmazó, s két egyenletből álló egyenletrendszert lehet felírni:

$$\dot{\mathbf{x}} = \alpha(t)\mathbf{x}(t) + \beta(t)\mathbf{u}(t).$$

Ugyanez diszkrétizált formában

$$\mathbf{x}[n + 1] = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}[n] + \mathbf{B}(t)\mathbf{u}[n]$$

alakú lesz; ahol $\mathbf{x}(t) \in R^n$ állapot-vektor, $\mathbf{u}(t) \in R^m$ bemeneti jel-vektor, $\alpha(t)$, $\beta(t)$ illetve az $\mathbf{A}(t)$, $\mathbf{B}(t)$ a meghatározandó paraméterek mátrixai [4].

Érthető, hogy a két egyenletrendszer megoldása egymáshoz közeli eredményt ad. Ezért az $\alpha(t)$, $\beta(t)$ mátrixokat az $\mathbf{A}(t)$, $\mathbf{B}(t)$ mátrixok azonosításával értékeljük. Ennek érdekében vizsgáljunk meg p realizációt a $T = pT_0 p = \overline{1}$.s realizációs tartományban. Minden realizációs tartományban adott Δt diszkrétizációs idővel ζ -szer rögzítsük az $x_{i,j}$ ($i, j = 1 \dots n$) és az $S_{k,l}$ ($k, l = 1 \dots m$) jeleket.

Bevezetve az

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} x_1[0] & \dots & x_n[0] & u_1[0] & \dots & u_m[0] \\ x_1[1] & \dots & x_n[1] & u_1[1] & \dots & u_m[1] \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_1[\zeta - 1] & \dots & x_n[\zeta - 1] & u_1[\zeta - 1] & \dots & u_m[\zeta - 1] \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}_i = \begin{bmatrix} x_i[1] \\ x_i[2] \\ \vdots \\ x_i[\zeta] \end{bmatrix}, \quad \mathbf{K}_i = \begin{bmatrix} a_{i1} \\ a_{i2} \\ \vdots \\ a_{in} \\ b_{k1} \\ b_{k2} \\ \vdots \\ b_{km} \end{bmatrix},$$

jelöléseket, az $\mathbf{A}(t)$ és a $\mathbf{B}(t)$ mátrixok elemeinek, az a_{ij} , b_{kl} elemek meghatározására a p -edik realizációs tartományban a következő egyenletet kapjuk:

$$\mathbf{M}^T \mathbf{x}_i = [\mathbf{M}^T \mathbf{M}] \mathbf{K}_i.$$

A becsült a_{ij} , b_{kl} értékek alapján az $\alpha_{ij}^{(p)}$, $\beta_{kl}^{(p)}$ ($p = \overline{1, s}$) már könnyen kifejezhető, $\mathbf{A} = \mathbf{E} + T\alpha$; $\mathbf{B} \cong T\beta$ illetve az időfüggő $\alpha_{ij}(t)$, $\beta_{kl}(t)$ tényezőket a diszkrét értékek segítségével valamely közelítő függvényvel (pl. Newton-polinomokként) megadható.

Adaptív, vagy aktív (a szerkezet manőverezési és légköri turbulencia miatti terhelését automatikusan csökkentő) repülőgép vezérlő rendszerek tervezésekor, megvalósításakor már nem lehet a repülőgép mozgását ilyen egyszerű formában tárgyalni. Rugalmas repülőgép vizsgálatoknál pl. már 400-nál is több paramétert kell meghatározni [7]. A repülőgépek mozgásállapotát jellemző egyenletrendszer linearizált formában ekkor is a következő egyszerű alakban felírható:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u},$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}\mathbf{u},$$

ahol $\mathbf{x} \in R^n$ állapot-vektor, $\mathbf{u} \in R^m$ bemenő jel-vektor, $\mathbf{y} \in R^p$ kimenő jel-vektor, és \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} , \mathbf{D} állandó mátrixok.

Az identifikáció ilyenkor a rendszer átviteli függvényének, illetve az átviteli függvény paramétereinek a meghatározására irányul. Az átviteli függvényt a

$$\mathbf{H}(s) = \mathbf{D} + \mathbf{C}^T (s\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{b} = \frac{b_0 + b_1 s + \dots + b_n s^n}{1 + a_1 s + \dots + b_1 s^1}$$

formában szokás megadni [8]; ahol s a differenciálás operátora, \mathbf{I} — hibakritérium-mátrix, b_i meghatározandó paraméterek.

Az identifikáció végrehajtása így is igen komoly problémát jelent. Csak dinamikus változásokat vizsgálva lehet az átviteli függvényt meghatározni. Az identifikáció végrehajtása belátható, hogy lényegesen leegyszerűsödik, ha áttérünk az ω frekvencia tartományokba [8] Ekkor különböző frekvenciájú bemeneti jeleket adva (pl. a kormány szerv rezgetésével), s megmérve azok amplitúdóját, sorban meg lehet határozni a

$$\mathbf{H}(j\omega) = \frac{(b_0 - b_2\omega^2 + b_4\omega^4 - \dots) + i(b_1\omega - b_3\omega^3 + b_5\omega^5 - \dots)}{(1 - a_2\omega^2 + a_4\omega^4 - \dots) + i(a_1\omega - a_3\omega^3 + a_5\omega^5 - \dots)}$$

alakú átviteli függvény valós és képzetes paramétereit. (A pontosság növelése érdekében a mérési adatokat előzetesen szűrőn kell átengedni; pontosítani kell a bemeneti jeleket, azok frekvenciáját; kompenzálni kell a mérőelemek érzékenységét, a szűrők simítását; figyelembe kell venni a méréseket zavaró zaj-

hatásokat.) Végül az egyes mérési eredmények alapján pl. a legkisebb négyzetes hiba módszerével meghatározható a tényleges átviteli függvény.

Vizsgálataink során analóg számítógépen modellezett repülőgépek rövid periodikus hosszdinamikai stabilitásának tanulmányozásakor a vázolt identifikációs módszert használva megállapítottuk, hogy a repülés közben felvett információk alapján a repülőgépek tényleges jellemzői — már ilyen egyszerű módszer használatakor is — 10 . . . 14%-os pontossággal meghatározhatók. Egyszerűbb légivizsgálatokban is [9] ugyanilyen pontosság érhető el. Lényegesen pontosabb és jobb műszerezéssel a fontosabb jellemzők egy százalékos pontossággal meghatározhatók [9].

Vizsgálataink egyértelműen bizonyították, hogy járművek — különösen repülőgépek — tényleges üzemi és üzemeltetési jellemzőinek a meghatározására (dinamikus üzemi változások során felvett be- és kimeneti jelek alapján) kiválóan megfelelnek az identifikációs eljárások.

Irodalom

1. Ejkhoff, P.: Osznovü identifikacii szisztem upravlenijja. Mir M. 1975.
2. Rao, Sz. R.: Linyejnüle sztatiszticeszkije metodü i jih primenyenijja. Nauka M. 1968.
3. Grop, D.: Metodü identifikacii szisztem. Mir M. 1979.
4. Kuzovkov, N. T., Karabanov, Sz. V., Szalüceev, O. Sz.: Nyeprerüvnüle i diszkretnüle szisztemü upravlenijja i metodü identifikacii. Masinosztrojenijje M. 1978.
5. Nyikolajev, Ju. A.: Metodü parametrieszkij identifikacija i perszpektivü jih primenyenijja v algoritmah upravlenijja letatyelnüh apparatov. V szb. Koszmiczeszkije apparatü. Mir M 1975.
6. Gorbatyenko, Sz. A., Makasov, E. M., Poluskin, Ju. F., Seftal, L. V.: Mehanika poltoja. Masinosztrojenijje M. 1969.
7. Eurlich, B. J., Rynaski, E. G.: Identification of flexible aircraft from flight data. AIAA Atmos. Flight Mech. Conf. Danvers, Mass., 1980. Collect. Tech. P. N. Y. 1980. 632.
8. Lin, P. L., Wu, Y. C.: Identification of Multi-input Multi Output Linear Systems From Frequency Response Data J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control 1982 marc. 58.
9. Breeman, J. H., Simons, J. L.: Evolution of a Method Performance Data from Dynamic Manoeuvres for a Jet Transport A Aircraft ICAS Cong. 19 p. 475.

Dr. Rohács József egy. tanársegéd