UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA
FACULTATEA DE AUTOMATICĂ, CALCULATOARE ŞI ELECTRONICĂ

ALGORITMI ŞI METODE DE IDENTIFICARE A SISTEMELOR NELINIARE

– REZUMAT –

Conducător ştiinţific:
Prof. dr. ing. Marin CONSTANTIN

Autor:
Ing. Virginia Maria FINCĂ(RĂDULESCU)

CRAIOVA 2010

CUPRINS

Identificarea sistemelor continue în timp are o importanţă practică deosebită deoarece procesele fizice actuale sunt caracterizate de modele continue în timp. În multe aplicaţii structura şi parametrii modelelor continue în timp sunt necunoscute. De-a lungul timpului au fost elaborate o serie de metode şi algoritmi pentru identificarea parametrilor sistemelor liniare, dar şi neliniare continue în timp care să ofere rezultate mai mult decât satisfăcătoare. În ceea ce priveşte elaborarea modelelor neliniare mai există încă dificultăţi în obţinerea anumitor modele.

Obiectivul întregului studiu, materializat în această teză este concentrat în jurul ***elaborării, dezvoltării şi aplicării unor metode şi algoritmi de identificare pentru clasa sistemelor neliniare.*** Urmărind obiectivul propus de-a lungul întregii teze s-a făcut o paralelă între noţiunile teoretice şi cele aplicative astfel încât să se obţină o teză unitară, care să urmărească tendinţele actuale ale domeniului identificării sistemelor.

Teza are ca subiect principal problematica identificării sistemelor neliniare de-a lungul celor şase capitole abordând treptat dificultăţile care apar în tratarea noţiunilor de identificare a sistemelor.

CAPITOLUL 1 Problema identificării sistemelor

În acest capitol se prezintă istoricul şi diferite abordări ale domeniului identificării sistemelor. Identificarea sistemelor continue în timp face posibilă o legătură directă cu proprietăţile fizice şi funcţionările fundamentale ale sistemelor, precum şi o estimare directă a parametrilor fizici care au o semnificaţie clară. Cadrul iniţial de la care am pornit studiul este asigurat de determinarea noţiunilor care apar în momentul tratării unei probleme de identificare generală, indiferent de tipul sistemului identificat. În primul rând toată problematica abordată urmăreşte subiectului principal, acesta fiind însuşi sistemul. Din acest motiv, apare necesitatea înţelegerii depline a sensului pe care îl capătă subiectul cu rol central în abordarea problemelor de identificare. În acest prim capitol noţiunile au un curs logic, pornind de la definirea conceptului de sistem cu toate proprietăţile aferente până la tratarea anumitor aspecte care să conducă la elaborarea unor algoritmi pentru rezolvarea problemei de identificare. În primele subcapitole sunt amintite noţiuni teoretice prezente în literatura de specialitate, dar care conduc spre concentrarea asupra subiectului principal şi anume elaborarea unor algoritmi pentru identificarea sistemelor neliniare. Odată cu stabilirea noţiunilor cu care se lucrează, pentru a delimita problemele şi pentru a urma un curs logic, de la simplu spre complex, s-au realizat câteva clasificări ale sistemelor şi modelelor aferente, prezentându-se în cadrul acestui capitol şi paşii urmaţi în rezolvarea unor astfel de probleme de identificare.

CAPITOLUL 2 Algoritmi de identificare bazaţi pe teoria distribuţiilor

Acest capitol apare ca o completare firească a cadrului oferit în prima parte. Aşa cum s-a prezentat în capitolul anterior, de-a lungul timpului s-au făcut o serie de progrese în aria identificării sistemelor continue în timp. Una dintre tendinţele importante în tratarea sistemelor în vederea identificării parametrilor o constituie realizarea legăturii între sistemul diferenţial de ecuaţii, implicit sistemul fizic, şi un sistem algebric de ecuaţii care să emuleze sistemul original prin concentrarea dependeţelor ce apar între parametrii cunoscuţi şi/sau necunoscuţi ai modelului. Urmărind această idee s-a căutat o direcţie care să ofere soluţii cât mai precise şi cât mai aplicabile pentru elaborarea unor modele de sisteme, respectiv a unor algoritmi care să poată fi implementaţi. O astfel de abordare a problemelor de identificare a sistemelor este oferită de aplicarea teoriei distribuţiilor având ca scop final obţinerea unor sisteme algebrice de ecuaţii care să descrie cât mai complet modelele de sisteme fizice. Teoria distribuţiilor este utilizată în numeroase aplicaţii ştiinţifice şi inginereşti, dintre care se pot menţiona printre altele, teoria ecuaţiilor diferenţiale, mecanica cuantică, dinamica fluidelor, legile conservării, etc.

Plecând de la ideile prezentate în noţiunile de început acestui capitol şi utilizând proprietăţi ale distribuţiilor, s-a dezvoltat o metodă de identificare aplicabilă atât sistemelor liniare descrise prin ecuaţii diferenţiale cu coeficienţi constanţi, cât şi anumitor clase de sisteme neliniare descrise de asemenea prin ecuaţii diferenţiale cu coeficienţi constanţi.

Pentru formularea problemei s-a considerat mai întâi un sistem propriu liniar, invariant în timp, de ordinul *n* cu o intrare $u : R \to \mathrm{R}$ şi o ieşire $y : R \to \mathrm{R}$, descris prin modelul său de ecuaţii diferenţiale cu coeficienţi reali:

$$\sum_{k=0}^{n} a_k y^{(k)}(t) = \sum_{k=0}^{m} b_k u^{(k)}(t),\ m \le n, a_n \ne 0, a_0 = 1 \qquad (1)$$

Ipotezele de lucru aplicate acestui model înglobează toate condiţiile de bună funcţionare a sistemului dar şi notaţii ale parametrilor. Pentru sintetizarea algoritmului, mai întâi s-a stabilit forma vectorului parametrilor şi formele derivatelor semnalelor de intrare, respectiv de ieşire, a;a cum se poate observa]n cele ce urmează:

$$\theta = [b_m, ..., b_k, ..., b_0, a_n, ..., a_k, ..., a_1]^t = [\theta_1, ..., \theta_p]^t \qquad (3)$$

$$y^{(k)} = D^k y,\ k = 0 : n, u^{(k)} = D^k u,\ k = 0 : m \qquad (4)$$

Următorul pas, a fost definirea unui operator de derivare care să ajute la exprimarea vectorială a modelului sistemului. Ţinând cont de toate transformările şi condiţiile impuse s-a putut ajunge la următoarea axiomă: ”*când se face referire la un sistem dinamic S, se va înţelege de fapt vectorul parametrilor* θ *şi invers. Adică, are loc următoarea relaţie:* $S = S(m,n) \Leftrightarrow \theta = \theta(m,n)$ ”

Trecând mai departe, s-a putut sintetiza modelul general al unei *probleme de identificare* care s-a transformat acum în problema de determinare a parametrului $\theta = \hat{\theta}$, pe baza informaţiilor obţinute din perechea semnalelor intrare/ ieşire $\left(u_T, y_T\right)$,

$$\hat{\theta} = \hat{\theta}(u_T, y_T, m, n) \qquad (5)$$

astfel încât operatorul de derivare $q_{\hat{\theta}/(u_T, y_T)}(t) = 0,\ \forall t \in R$ (6)

În teoria distribuţiilor este introdusă, ca o convenţie, noţiunea de distribuţie derivabilă de ordinul k, k=0:n. Dacă $F_q \in \Phi_n'$, atunci derivata ei de ordinul k este o nouă distribuţie, $F_q^{(k)} \in \Phi_n'$, definită în mod unic de relaţia

$$F_q^{(k)}(\phi) = (-1)^k F_q(\phi^{(k)}),\ \forall \phi \in \Phi_n,\ \phi \to F_q^{(k)}(\phi) = (-1)^k \int_R q(t)\phi^{(k)}(t)dt \in R \qquad (7)$$

Se consideră cunoscută mulţimea funcţiilor continue:

$u^{(k)} : R \to R, t \to u^{(k)}(t),\ 0 \le k \le m,\ cu\ m \le n$,

unde $u^{(k)}$ reprezintă derivata de ordinul k a funcţiei u(t). Cu aceste funcţii generăm o mulţime de distribuţii regulate:

$$F_u^{(k)}(\phi) = F_{u^{(k)}} : \Phi_n \to R,\ \phi \to F_{u^{(k)}}(\phi), F_{u^{(k)}}(\phi) = \int_R u^{(k)}(t)\phi(t)dt = (-1)^k \int_R u(t)\phi^{(k)}(t)dt \qquad (8)$$

Mai departe, în continuarea aceluiaşi capitol s-a prezentat o abordare grafică a relaţiilor dintre elementele şi proprietăţile distribuţiilor de ordin finit. S-a considerat o distribuţie generată de o funcţie y, notată F_y. Valoarea acestei distribuţii pentru o funcţie test φ fiind $\mathrm{F}_y(\varphi)$. Derivata acestei distribuţii este F_y' cu valoarea $\mathrm{F}_y'(\varphi)$ pentru o aceeaşi funcţie test φ.

Deoarece distribuţia este o funcţională, adică o funcţie de variabila φ, variabilă care este la rândul ei o funcţie, în Figura 1 este prezentată distribuţia în planul $(\varphi, \mathbf{R})$ numai cu scop ilustrativ deşi mulţimea Φ_n nu este o mulţime ordonată. Se poate vedea astfel legătura dintre valorile $\mathrm{F}_y(\varphi)$ şi $\mathrm{F}_y'(\varphi)$ pentru o funcţie particulară $\varphi = \varphi 1$

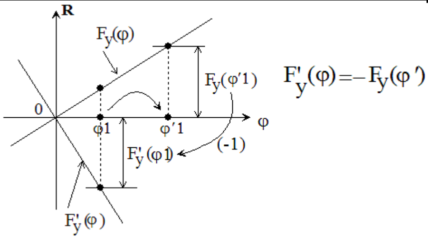


Fig. 1. Ilustrarea legăturii dintre valorile $\mathrm{F}_y(\varphi)$ şi $\mathrm{F}_y'(\varphi)$

S-a consideră apoi că funcția y care generează distribuția $\mathrm{F}_y(\varphi)$ este o rampă ca în Figura 2. Pe cele trei coloane ale acestei figuri s-au ilustrat: valoarea distribuției $\mathrm{F}_y(\varphi)$, valoarea derivatei $\mathrm{F}_y'(\varphi)$ a acestei distribuții şi valoarea distribuției $\mathrm{F}_{y'}(\varphi)$ generată de derivata funcției y adică $y' = dy/dt$. Evident funcția rampă este derivabilă.

Datorită proprietăților de continuitate şi derivabilitate pe suport compact a funcțiilor test φ, se observă ca valoarea distribuției $\mathrm{F}_y'(\varphi)$ este suma dintre o arie pozitivă mai mare decât valoarea absoluta a ariei negativă, diferență care dă o informație despre valoarea derivatei $y' = dy/dt$ a funcției generatoare y, nu într-un punct ca în cazul funcțiilor clasice ci valoarea derivatei măsurată prin funcția test φ.

Aceasta exprimă diferența esențială dintre metodele de identificare clasice bazate pe funcții modulatoare în care derivatele sunt evaluate la un anumit moment de timp şi abordarea identificării prin distribuții, propusă în lucrare în care se manipulează informații despre valoarea derivatelor, valori extrase prin intermediul funcțiilor test φ.

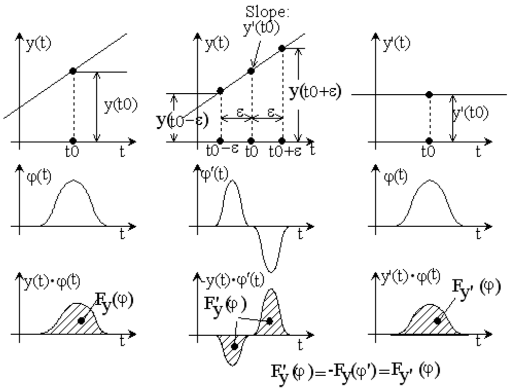


Fig. 2. Ilustrarea legăturii dintre valorile $\mathrm{F}_y(\varphi)$, $\mathrm{F}_y'(\varphi)$ şi $\mathrm{F}_{y'}(\varphi)$

Un caz mai general este acela în care funcția generatoare y este local integrabilă şi poate avea un număr finit de discontinuități de prima speță. Evident că această funcție nu este derivabilă în sens clasic.

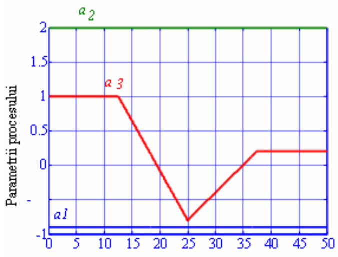
Următorul pas în elaborarea algoritmului de identificare pe baza teoriei distribuțiilor, a constat în încercarea de a trata cât mai simplu problemele introduse prin utilizarea distribuțiilor. Soluțiile au apărut logic, din analiza tuturor proprietăților funcțiilor prezente în teorie. Astfel, din necesitatea evaluării derivatelor semnalelor, respectiv a integralelor funcțiilor s-a născut ideea folosirii unor elemente care să poată fi evaluate şi care să forțeze într-un fel obținerea rezultatelor dorite. Aceste funcții experimentale prezintă forme ale căror caracteristici cunoscute oferă o unealtă folositoare în evaluarea ecuațiilor ce descriu sistemul identificat.

Pentru ilustrarea rezultatelor obținute aplicând metodele de identificare bazate pe distribuții s-a recurs la executarea câtorva experimente, iar unul dintre acestea va fi prezentat în cele ce urmează. Rezultatele obținute pentru un sistem variabil în timp de ordinul întâi, descris prin modelul prezentat în continuare

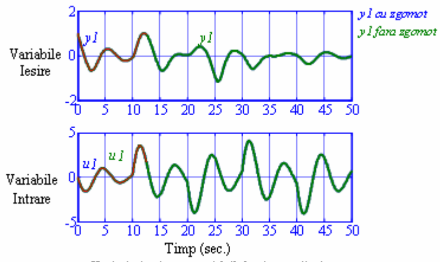
$$\dot{y}(t) = \theta_1 \cdot y(t) + \frac{\theta_3(t) \cdot u(t)}{\theta_2 + y(t)} \tag{9}$$

unde $\theta_3(t) = \theta_{31} \cdot t + \theta_{30}$ (10)

Vectorul parametrilor necunoscuți este definit în spiritul metodei de identificare utilizând distribuțiile şi are forma $\theta = [\theta_1 \;\; \theta_2 \;\; \theta_{31} \;\; \theta_{30}]$ (11)



Variația în timp a parametrilor necunoscuți



Variația în timp a variabilelor intrare/ieşire.

Real	Identificat
2.000	2.00000007054610
-0.900	-0.90000001125488
-0.144	-0.14400000531677
2.800	2.80000010349192

Pentru a putea observa mai bine avantajele metodei descrise în teorie, s-a prezentat în tabelul alăturat figurilor, o comparație a vectorului parametrilor reali versus vectorul parametrilor identificați, şi se poate concluziona pentru această aplicație, şi nu numai, că aplicarea distribuțiilor în vederea soluționării problemelor de identificare este o soluție foarte bună.

CAPITOLUL 3 Metoda identificării ierarhizată a sistemelor neliniare. Aplicații la un bioproces de tratare a apelor reziduale şi la sisteme cu frecare

Pentru a demonstra utilitatea metodelor propuse şi uşurința cu care se pot dezvolta noi algoritmi pentru rezolvarea problemelor de identificare, pe lângă aplicațiile teoretice propuse în capitolul anterior, **capitolul trei** s-a dedicat experimentelor care să ofere o viziune a aplicabilității metodelor şi unor procese reale. Prima aplicație propusă urmăreşte identificarea parametrilor pentru procesul complex de tratare a apelor reziduale. Instalațiile pentru tratarea apelor reziduale sunt dificil de controlat datorită dinamicilor neliniare şi a parametrilor necunoscuți ai căror valori se pot modifica în timp. Modelul dinamic corespunzător procesului analizat este următorul

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} X_1 \\ S_1 \\ X_2 \\ S_2 \\ P_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -k_1 & 0 \\ 0 & 1 \\ k_2 & -k_3 \\ 0 & k_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{bmatrix} - D \begin{bmatrix} X_1 \\ S_1 \\ X_2 \\ S_2 \\ P_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ DS_{in} \\ 0 \\ 0 \\ -Q_1 \end{bmatrix} \tag{12}$$

unde vectorul de stare al modelului este, $\xi = [X_1 \;\; S_1 \;\; X_2 \;\; S_1 \;\; P_1]^T = [\xi_1 \;\; \xi_2 \;\; \xi_3 \;\; \xi_4 \;\; \xi_5]^T$ (13)

Viteza de reacție este un vector compus din funcții neliniare de componentele de stare, exprimat ca $\phi = \phi(\xi) = [\phi_1(\xi) \;\; \phi_2(\xi)]^T$. (14)

iar vectorul vitezelor de alimentare este: $F = [0 \;\; D \cdot S_{in} \;\; 0 \;\; 0 \;\; -Q_1]^T$ (15)

unde, D este viteza de diluție, în cazul de față fiind un scalar, S_{in} reprezintă concentrația substratului extern influent – glucoza, Q_1 reprezintă viteza debitului de evacuare a gazului metan. Modelul dinamic (20) poate fi rescris sub forma compactă

$$\frac{d\xi}{dt} = K \cdot \phi(\xi) - D \cdot \xi + F\,. \tag{16}$$

Acest model descrie comportamentul unei întregi clase de bioprocese, şi este cunoscut ca modelul dinamic general de stare. Mai departe, s-a trecut la notarea parametrilor şi a mărimilor care intervin în desfăşurarea procesului, în stilul caracteristic algoritmilor elaborați pe baza teoriei distribuțiilor. Astfel s-a obținut vectorul parametrilor procesului, notat cu θ, de forma $\theta = [\theta_1 \;\; \theta_2 \;\; \theta_3 \;\; \theta_4 \;\; \theta_5 \;\; \theta_6 \;\; \theta_7 \;\; \theta_8 \;\; \theta_9]^T$.

Scrierea explicită pe componente a ecuațiilor modelului, ținând cont de notațiile anterioare, capătă acum forma

$$\dot{\xi}_1 = \phi_1 - u_3 \cdot \xi_1 \tag{17}$$

$$\phi_1 = \theta_5 \cdot \frac{\xi_1 \cdot \xi_2}{\theta_7 + \xi_2} \tag{18}$$

$$\dot{\xi}_2 = -\theta_1 \cdot \phi_1 - u_3 \cdot \xi_2 + u_1 \cdot u_3 \tag{19}$$

$$\dot{\xi}_3 = \phi_2 - u_3 \cdot \xi_3 \tag{20}$$

$$\phi_2 = \theta_6 \cdot \frac{\xi_3 \cdot \xi_4}{\theta_8 + \xi_4 + \theta_9^{'} \cdot \xi_4^2} \text{ , } \theta_9^{'} = \frac{1}{\theta_9} \tag{21}$$

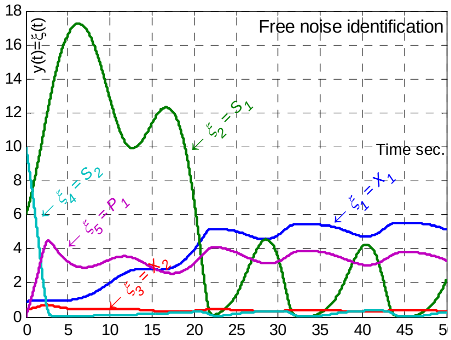
$$\dot{\xi}_4 = \theta_2 \cdot \phi_1 - \theta_3 \cdot \phi_2 - u_3 \cdot \xi_4 \tag{22}$$

$$\dot{\xi}_5 = -u_3 \cdot \xi_5 + \theta_4 \cdot \phi_2 - u_2 \tag{23}$$

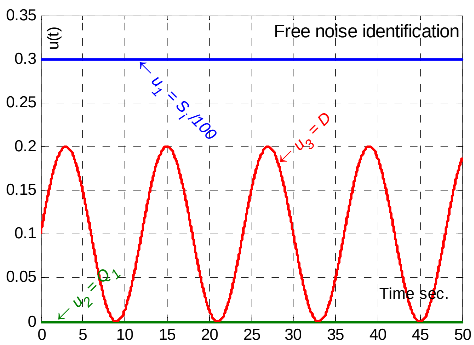
Următorul pas, după obţinerea formei sistemului ce a urmat a fi identificat, a fost formularea problemei de identificare în forma impusă de metodele identificării cu ajutorul distribuţiilor, aşa cum s-a arătat în capitolul de teorie. ***Rezultatele obţinute fiind originale şi prezentate în subcapitole separate pentru diverse cazuri.***

Rezultatele unuia dintre experimentele efectuate în cadrul acestui studiu este prezentat pe scurt şi în cele ce urmează. Aplicaţia prezintă identificarea sistemului cu intrări sinusoidale şi evoluţii din condiţii iniţiale nenule, pentru care intrările au fost date de: $S_{in} = u_1(t) = 30$; $Q_1 = u_2(t) = 0$; $D = u_3(t) = 0.1 + 0.1 \cdot \sin(2\pi / 12)$, iar parametrii sunt prezentaţi în tabelul următor

Parametrii reali	**Parametrii identificati**
5.40000000000000	5.39999999968776
1.00000000000000	0.99999999998385
14.70000000000000	14.70000000171210
10.00000000000000	9.99999995853515
0.20000000000000	0.20000000003866
0.60000000000000	0.59999999935076
0.75000000000000	0.75000000163917
1.00000000000000	0.99999999888425
21.00000000000000	20.99999976074416



Răspunsul sistemului neperturbat



Evolutia mărimilor de intrare

În continuare, pentru a rafina algoritmul şi pentru a îi creşte precizia, s-a propus o structură ierarhizată, asemeni celei prezentate în Figura 3. pentru identificarea şi estimarea ecuaţiilor unui astfel de model. Problema a fost tratată într-un subcapitol separat, în cadrul căruia s-au prezentat câteva experimente în diferite condiţii de funcţionare a instalaţiei. Evident că problema de identificare neliniară s-a păstrat şi în acest caz. Pentru a obţine ecuaţii liniare în parametrii necunoscuţi, problema de identificare este împărţită în câteva sub-probleme de identificare, simple şi interdependente, numite layer-e de identificare. Pe baza structurii specifice a unui astfel de sistem a fost posibilă gruparea ecuaţiilor de stare, astfel încât să se ajungă la cinci probleme de identificare, interconectate şi organizate într-o structură ierarhică. Punctul de start a fost utilizarea câtorva ecuaţii de stare, în primul layer pentru a obţine un set de ecuaţii liniare, de anumiţi parametrii necunoscuţi. Rezultatele acestei prime etape de identificare au fost apoi utilizate pentru exprimarea altor parametrii în ecuaţii liniare în cel de al doilea layer, şi aşa mai departe. Acest proces este repetat în alte layere până în momentul în care toţi parametrii vor fi identificaţi. Pentru fiecare layer de identificare sunt aplicate aceleaşi tipuri de proceduri şi aceeaşi algoritmi numerici, obţinânduse astfel rafinarea algoritmului general.

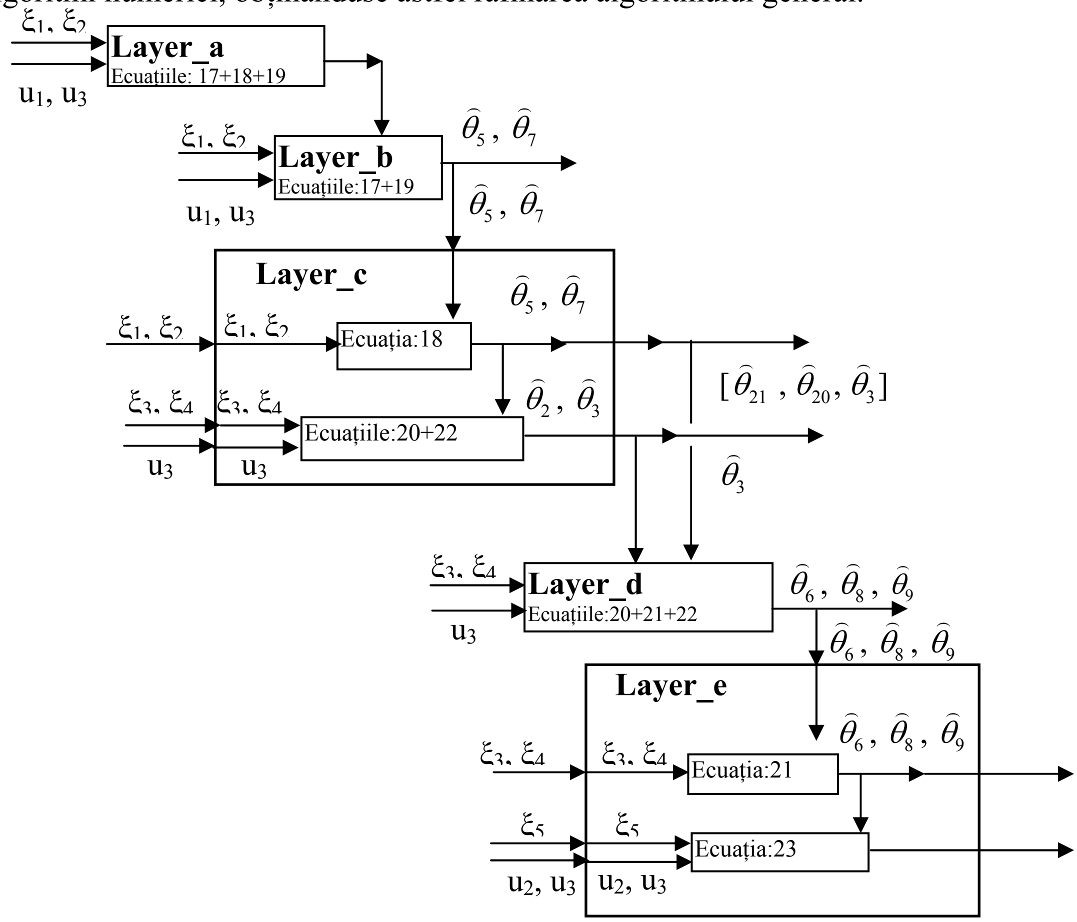


Fig. 3. Structura ierarhizată a metodei de identificare a parametrilor unui proces

O altă categorie de sisteme cărora li se pot aplica aceste tehnici de identificare, cu rezultate bune sunt sistemele cu fricţiune. Pentru aplicarea metodei de identificare cu ajutorul distribuţiilor, în ultimul subcapitol al capitolului trei s-a considerat cazul unui sistem simplu cu o singură frecare $r = F_f$, compus dintr-o masă m ataşată la un resort cu coeficientul de elasticitate K_p, mişcându-se în plan orizontal. Urmărind aceeaşi idee a aplicaţiilor la bioprocese, şi în acest caz s-au făcut experimente ale căror rezultate au fost prezentate şi sunt originale.

CAPITOLUL 4 Identificarea sistemelor neliniare structurate

În **capitolul patru** s-au prezentat câteva dintre modelele sistemelor neliniare pentru care s-au adaptat diverşi algoritmi în vederea obţinerii parametrilor identificaţi. Cele mai întâlnite structuri ale unor astfel de sisteme neliniare sunt modelele Hammerstein, Wiener, sistemele neliniare cu reacţie şi sistemele combinate Hammerstein/ reacţie, ale căror formă generală se poate observa din figurile 4, 5, 6 şi 7. Aceste modele implică o interconexiune între un bloc liniar şi un bloc neliniar. Utilizarea pentru procesul de identificarea a unor astfel de modele putând fi pusă în practică pentru o gamă largă de sisteme.

Modelul Hammerstein/ reacţie poate fi privit ca o realizare a unui sistem neliniar. În concordanţă, reprezentarea unui sistem neliniar nu este unică. S-a arătat în că nu există o identificare unică a unui sistem neliniar, şi pot interveni modificări fie la coeficienţi fie la termeni de bias ai părții neliniare.

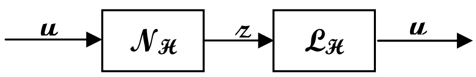


Fig.4. Modelul Hammerstein

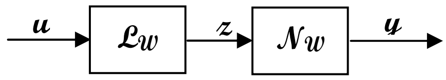


Fig.5. Modelul Wiener

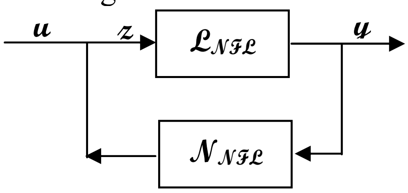


Fig.6. Modelul cu reacție neliniară

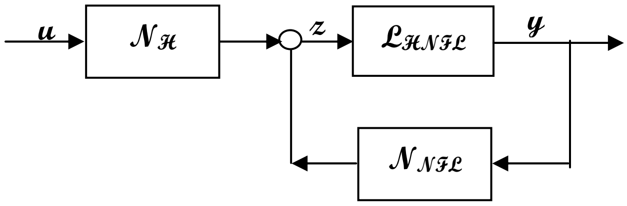


Fig.7. Modelul Hammerstein cu reacție neliniară

În vederea rezolvării problemei de identificare a parametrilor unor astfel de sisteme neliniare în capitolul de față am modificat şi dezvoltat diferiți algoritmi care la bază au avut teoria generală a metodelor de identificare. Astfel pentru cazul identificării parametrilor unor sisteme neliniare de tip Hammerstein am pornit de la algoritmul general al celor mai mici pătrate introducând anumite transformări pentru a adapta metoda la diferite cazuri. După aplicarea algoritmului am trecut la optimizarea rezultatelor pentru a îi creşte precizia. În continuare, am propus o analiză mai amănunțită a funcțiilor de bază ce descriu sistemul aplicând diverse metode de analiză a acestora. Aplicațiile aferente acestui capitol au fost teoretice dar prezentate în scopul de a sublinia avantajele oferite de metodele analizate. Ultimul subcapitol a fost dedicat unei aplicații speciale elaborate pentru identificarea sistemelor neliniare structurate folosind metode bazate pe distribuții. Rezultatele obținute în urma experimentelor făcute în laborator au fost de asemenea prezentate.

Pentru exemplificarea unuia dintre algoritmii prezentați în capitolul de față, s-a considerat următorul experiment. Fie un sistem de forma generală reprezentată în Figura 6, şi ale cărui mărimi de intrare, respectiv ieşire prezintă o evoluție ca cea din figura 8. Partea liniară a acestui sistem este dată de funcția de transfer

$$H(s) = \frac{3s+1}{4s^2+0.2s+1} \tag{32}$$

Partea neliniară prezentă pe reacție a fost considerată a avea forma unei funcții Bezier de ordinul şase: $z(y) = \sum_{j=1}^{6} \gamma_j \cdot B_{j-1}^{5}\left(\frac{y-y_{\min}}{y_{\max}-y_{\min}}\right)$ (33)

unde $B_j^n(s)$ reprezintă componenta j a funcției Bernstein de grad n:

$$B_j^n(s) = \frac{n!}{j!\cdot(n-j)!}\cdot s^j \cdot (1-s)^{n-j},\ s\in[0,1] \tag{34}$$

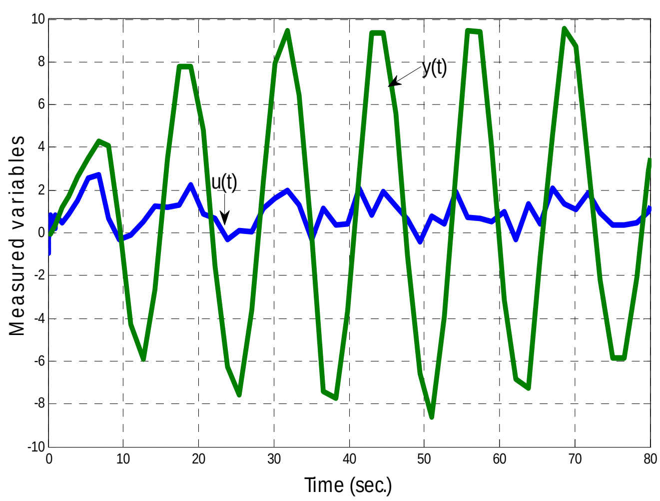


Figura 8. Perechea intrare-ieşire a sistemului identificat

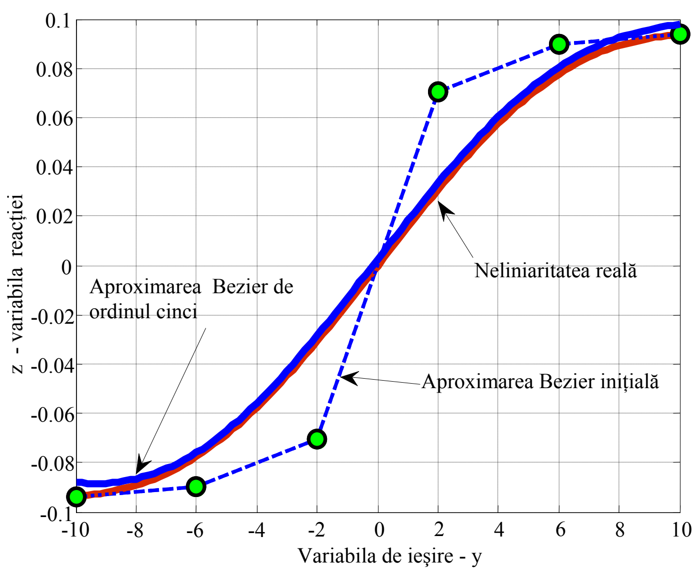


Figura 9. Evoluţiile neliniarităţilor implicate în procesul de identificare

Pentru unul dintre experimente au fost obţinute următoarele seturi de date:

Parametru	Valoare reală	Valoare identificată
a	$[a_1\ a_2]=[4\ \ 0.2]$	$\hat{a}=[\hat{a}_1\ \hat{a}_2]=[3.678\ \ 0.846]$
b	$[b_1\ b_2]=[3\ \ 1]$	$\hat{b}=[\hat{b}_1\ \hat{b}_2]=[2.878\ \ 0.967]$
γ	$\begin{bmatrix}\gamma_1 & \gamma_2 & \gamma_3 & \gamma_4 & \gamma_5 & \gamma_6\end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix}-0.0937 & -0.0895 & -0.0705 & 0.0705 & 0.0895 & 0.0937\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}\hat{\gamma}_1 & \hat{\gamma}_2 & \hat{\gamma}_3 & \hat{\gamma}_4 & \hat{\gamma}_5 & \hat{\gamma}_6\end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix}-0.0881 & -0.0935 & -0.0653 & 0.0731 & 0.0913 & 0.0987\end{bmatrix}$

CAPITOLUL 5 Aplicaţii ale identificării pe o platformă experimentală pentru controlul şi reglarea temperaturii într-o incintă

Domeniul conducerii proceselor industriale şi al automatizărilor beneficiază din plin de evoluţia extraordinară a tehnicii de calcul actuale, prin implementarea sistemelor de măsură şi control performante, având drept componente centrale microcontrolere sau calculatoare PC.

Prin utilizarea calculatorului în cadrul acestor sisteme se beneficiază de toate resursele de calcul disponibile ale acestuia, cum ar fi puterea de calcul impresionantă, posibilitatea stocării şi reprezentării datelor, precum şi flexibilitatea deosebită în reconfigurarea sistemului şi adăugarea de noi funcţii.

Capitolul cinci a apărut ca o continuare firească a noţiunilor prezentate în capitolele anterioare. Pentru a demonstra aplicabilitatea metodelor de analiză a sistemelor şi utilitatea algoritmilor dezvoltaţi am trecut la implementarea practică a acestora. Unii dintre algoritmi au fost utilizaţi pentru identificarea parametrilor unei instalaţii fizice. Pentru efectuarea testelor am utilizat o platformă experimentală pentru controlul şi reglarea temperaturii într-o incintă, workbench prezent în laboratoarele Catedrei de Automatică, a Facultăţii de Automatică, calculatoare şi Electronică din Craiova.

CAPITOLUL 6. Concluzii şi contribuţii

Teza de faţă, abordează problema identificării unor modele de sisteme neliniare continue invariante în timp. Aceste modele prezintă un interes deosebit atât în domeniul conducerii sistemelor cât şi pentru alte domenii. Contribuţiile personale şi concluziile rezultate în urma cercetării desfăşurată de-a lungul timpului de desfăşurare a întregului studiu sunt concentrate în principal în **ultimul capitol.** În prezenta teză de doctorat s-au dezvoltat o serie de algoritmi şi metode de identificare pentru sisteme continue neliniare.

Un **avantaj** major al utilizării algoritmilor bazaţi pe distribuţii, pentru identificare este acela că în locul derivatelor de diferite ordine ale intrării şi ieşirii, se calculează derivatele de acelaşi ordin al funcţiilor de test. Avantajul devine major datorită complexităţii neliniarităţilor ce pot apare în modelele diferitelor sisteme fizice. Testarea mai multor funcţii de test conduce la obţinerea unui sistem de ecuaţii liniare în raport cu parametrii sistemului care se poate rezolva mult mai uşor.

O primă clasă de sisteme analizate este formată din sistemele descrise de ecuaţii diferenţiale exact integrabile, adică ecuaţii pentru care toţi termenii pot fi scrişi ca derivate exacte ale unor funcţii (în cazul nostru funcţii ce descriu evoluţia semnalelor măsurate). Ecuaţia diferenţială este scrisă mai întâi sub această formă, după care se procedează la fel ca în cazul liniar obţinând un sistem de ecuaţii liniare în raport cu parametrii necunoscuţi.

O a doua clasă a fost clasa sistemelor Hammerstein care tratează problema neliniarităţii prin separarea părţilor neliniare de cele liniare. O astfel de abordare oferă o oarecare uşurinţă în identificarea parametrilor sistemelor neliniare. Metoda a fost exemplificată pe o instalaţie de control a temperaturii dintr-o incintă.

O altă clasă de sisteme neliniare pentru care această metodă de identificare a fost aplicată o reprezintă sistemele ce descriu evoluția proceselor biotehnologice. Identificarea parametrilor necunoscuți a fost realizată utilizând ecuațiile de stare ale procesului biotehnologic.

Diverse părți principale din teză au fost prezentate în lucrări științifice publicate la o serie de manifestări științifice internaționale din țară şi din străinătate. În prezenta teză de doctorat au fost dezvoltați o serie de algoritmi şi metode de identificare pentru sisteme continue neliniare, iar contribuțiile personale şi originale din această teză vor fi expuse în continuare:

1. Adaptarea problemei de identificare a sistemelor neliniare folosind metoda distribuțiilor. Folosind această metodă se pot identifica parametrii diferitelor sisteme fie ele liniare sau neliniare fără a mai fi nevoie de informații apriorice despre structura sistemului, cu ajutorul algoritmilor dezvoltați putând fi determinat şi ordinul sistemului. Informațiile obținute prin utilizarea distribuțiilor nu se bazează pe anumite valori speciale ale răspunsului sistemului într-un anumit punct al domeniului timp. Acest aspect reprezintă un **avantaj** major atunci când funcția analizată este nefiltrată de zgomote, deoarece, dându-se o importanță mare anumitor valori în anumite momente de timp, se acordă aceeaşi importanță şi zgomotului care însoțeşte acele valori.
2. Proiectarea, implementarea şi adaptarea unor algoritmi de identificare folosind metode specifice sistemelor neliniare, în vederea unei identificări cât mai fidele a parametrilor.
3. Proiectarea, dezvoltarea, adaptarea şi implementarea unor algoritmi de identificare pentru sisteme neliniare folosind distribuțiile. Principalele avantaje oferite de această metodă constau în anularea efectului anumitor restricții puse variabilelor sistemelor care nu mai trebuie astfel estimate şi evitarea evaluării derivatelor unor semnale care induc neliniarități.
4. Adaptarea şi implementarea software a unor tipuri de funcții de test utilizate pentru transformarea ecuațiilor diferențiale în ecuații algebrice în raport cu parametrii necunoscuți ai sistemului.
5. Sintetizarea algoritmilor de identificare pentru sisteme neliniare Hammerstein, respectiv Wiener.
6. Extinderea diverselor metode de identificare din literatură la sisteme neliniare continue utilizând distribuțiile.
7. Din punct de vedere practic metodele au fost testate pe o instalație experimentală de control al temperaturii dintr-o incintă (Workbanch-ul HVAC pentru platforma ELVIS, oferit de National Instruments).
8. Dezvoltarea unei pachet de programe MATLAB pentru identificarea sistemelor.
9. Programe de identificare utilizând distribuțiile unei funcții;
10. Adaptarea programelor pentru implementarea funcțiilor de test şi a derivatelor acestora.
11. Programe de identificare a sistemelor neliniare continue folosind distribuțiile.
12. Programe de identificare a sistemelor neliniare continue caracterizate prin ecuații de tip polinomial, Hammerstein şi Wiener folosind distribuțiile.
13. Programe de identificare a unor clase de procese biotehnologice folosind distribuțiile.
14. Adaptarea unor programe de identificare a parametrilor sistemelor neliniare continue pe baza filtrelor.
15. Programe de achiziție de date folosind soft-ul LabView.
16. Definirea şi construirea, ca proceduri Matlab, a funcțiilor de test dintr-un spațiu fundamental .
17. Aplicarea directă a metodelor prezente în mediul Matlab pentru diverse probleme de identificare. Aceasta permite studii comparative între algoritmii DBI şi orice altă metodă clasică de identificare.
18. Crearea unei baze de date cu toate rezultatele sesiunii în vederea utilizării în alte sesiuni şi pentru a fi post – procesate.
19. Realizarea identificării momentelor principale pentru sistemele continue în timp utilizând operatorii de derivare, bineînțeles numai pentru metode teoretice