

Considerații asupra modelelor interne

Valentina BĂLAȘ, Marius BĂLAȘ
Universitatea „Aurel Vlaicu” din Arad

Abstract: *This paper is presenting a brief recall on the identification and control methods based on the internal models. Some results of the authors' theoretical researches, linked to the intelligent sensors and to railway cars issues are also resumed. A summary of some relevant research ideas linked to internal models is eventually presented.*

1. Introducere

Una dintre posibilitățile de introducere a inteligenței artificiale în funcționarea sistemelor de conducere automată și a senzorilor constă din *adăugarea în structura lor a unor modele ale proceselor în care urmează să fie înglobate* numite *modele interne*. Importanța modelelor interne constă din aceea că ele permit înglobarea *cunoștințelor* disponibile despre aplicație în sistemele bazate pe calculatoare numerice: microcontrolere, DSP-uri, PC-uri, etc.

În §2 se prezintă pe scurt utilizarea modelelor interne în reglarea și identificarea sistemelor. Scopul prezentării este de a pregăti introducerea în §3 a modelelor interne în structura senzorilor inteligenți. Două aplicații ale modelelor interne legate de vagoanele de călători sunt prezentate în §4 iar concluziile și formularea unor posibile viitoare teme de cercetare se regăsesc în §5.

2. Sisteme cu model intern

2.1. Sisteme de reglare adaptivă cu model intern

Utilizarea modelelor de referință interne a fost inițiată în contextul sistemelor de reglare adaptivă [3], etc. Metoda este extrem de răspândită, mai ales în ultimii ani și poate fi regăsită în mai multe variante.

În varianta din fig. 1 funcționarea dorită a procesului neliniar este simulată prin intermediul modelului de referință, care conduce un corector adaptiv ce modifică parametri regulatorului pe baza unei legi de corecție având ca intrare diferența dintre ieșirea y a procesului și cea ale modelului de referință y_M , denumită în continuare *eroare de adaptare*. Corectorul adaptiv care are funcția de transfer $C(s)$, trebuie să determine modificarea parametrilor regulatorului astfel încât ieșirea procesului real să fie cât mai apropiată de ieșirea modelului de referință. Acțiunea de adaptare constă în esență din urmărirea modelului.

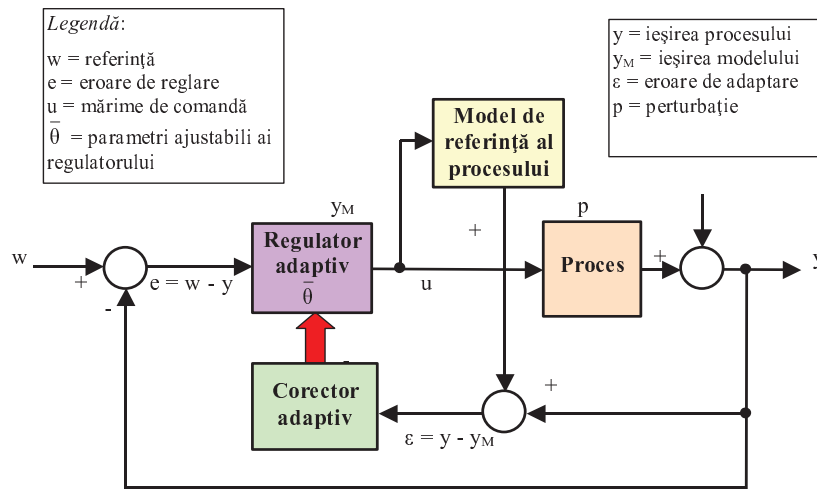


Fig. 1 Sistem de reglare automată adaptivă cu model de referință

Ecuțiile care modelează comportarea sistemului de reglare adaptivă cu model intern pentru cazul cu timp continuu cu parametri constanți pe subintervale de timp, sunt pentru fiecare subinterval de forma:

$$\begin{cases} U(s) = \frac{R_A(C(s))}{1 + G(s) \cdot R_A(C(s))} \cdot W(s) - \frac{R_A(C(s))}{1 + G(s) \cdot R_A(C(s))} \cdot P(s) \\ Y(s) = \frac{G(s) \cdot R_A(C(s))}{1 + G(s) \cdot R_A(C(s))} \cdot W(s) + \frac{1}{1 + G(s) \cdot R_A(C(s))} \cdot P(s) \\ \varepsilon(s) = (G(s) - M(s)) \cdot U(s) + P(s) \end{cases} \quad (1)$$

Notățiile folosite pentru funcțiile de transfer și transformatele Laplace sunt: $G(s)$ pentru proces, $R_A(s)$ pentru regulatorul adaptiv, $C(s)$ pentru corectorul adaptiv, $W(s)$ pentru referință, $U(s)$ pentru comandă, $Y(s)$ pentru ieșire și $P(s)$ pentru perturbația aditivă, $M(s)$ pentru modelul procesului. Aceste ecuații sunt valabile și în cazul cu timp discret.

Problema centrală a acestor sisteme este proiectarea legii de corecție $C(s)$. Există mai multe metode de analiză și sinteză utilizabile în acest sens, dintre care cea mai des utilizată este metoda gradientului.

Se alege o funcție criteriu $J(\bar{\theta})$ dependentă de $\bar{\varepsilon} = \bar{y} - \bar{y}_M$ (eroarea de adaptare), unde $\bar{\theta}$ sunt parametrii ajustabili ai regulatorului, de exemplu:

$$J(\bar{\theta}) = \frac{1}{2} \overline{\varepsilon^2} \quad (2)$$

sau

$$J(\bar{\theta}) = \left| \overline{\varepsilon} \right| \quad (3)$$

Evident, cu cât valoarea lui J este mai mică, cu atât eroarea ε este și ea mai mică. În continuare, pentru minimizarea lui J , parametrii evoluează în timp în sensul negativ al gradientului lui J în raport cu θ :

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \cdot \frac{dJ}{d\theta} \quad (4)$$

unde γ este o constantă pozitivă ce caracterizează viteza de adaptare.

Avantajele principale ale metodei constau din simplitatea sintezei corectorului și robustețea. Dezavantajele sunt legate de faptul că poate fi aplicată numai proceselor stabile [6] precum și de viteza de convergență și precizia relativ scăzute față de principala metodă alternativă, metoda Gauss-Newton [4]. O metodă care combină avantajele metodelor gradientului și Gauss-Newton este metoda Marquardt [4].

Metoda modelului intern oferă posibilități numeroase de sinteză a unor sisteme de reglare adaptive cu diverse topologii și caracteristici. În fig. 2 se prezintă varianta sa cea mai simplă, aplicabilă pentru procese liniare, pentru

cazul în care corecția adaptivă se identifică cu eroarea de adaptare $C(s) = \varepsilon(s)$, așa cum se regăsește ea în [6].

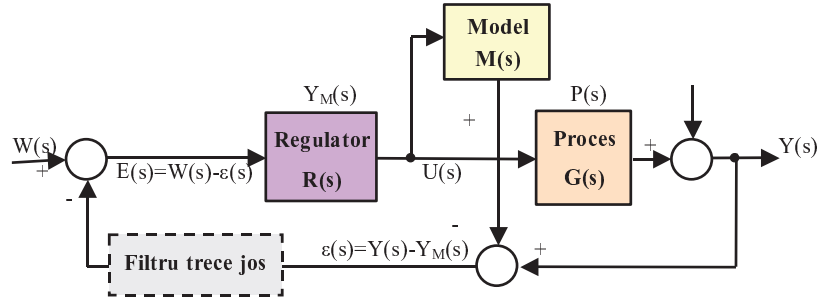


Fig. 2. Varianta cea mai simplă a reglării cu model intern

Ecuțiile care modelează sistemul pentru cazul cu timp continuu sunt:

$$\begin{cases} U(s) = \frac{R(s)}{1 + R(s) \cdot (G(s) - M(s))} \cdot W(s) - \frac{R(s)}{1 + R(s) \cdot (G(s) - M(s))} \cdot P(s) \\ Y(s) = \frac{R(s) \cdot G(s)}{1 + R(s) \cdot (G(s) - M(s))} \cdot W(s) + \frac{1 - R(s) \cdot M(s)}{1 + R(s) \cdot (G(s) - M(s))} \cdot P(s) \\ \varepsilon(s) = (G(s) - M(s)) \cdot U(s) + P(s) \end{cases} \quad (5)$$

Dacă modelul $M(s)$ ar reprezenta perfect procesul $G(s)$ atunci:

$$\varepsilon(s) = P(s) \quad (6)$$

și mărimea de reacție ar fi identică cu perturbația, nefiind afectată de acțiunea de reglare. Sistemul se comportă ca și cum ar fi în buclă deschisă, stabilitatea sa depinzând doar de stabilitatea procesului și a corectorului. Ieșirea are forma

$$Y(s) = R(s) \cdot G(s) \cdot W(s) + (1 - R(s) \cdot M(s)) \cdot P(s) \quad (7)$$

Dacă referința este constantă eroarea statică poate fi anulată prin condiția

$$R(0) = M(0)^{-1} = G(0)^{-1} \quad (8)$$

În regim dinamic erorile de modelare cauzează erori de reglare și chiar instabilitate, dar popularitatea metodei modelului intern demonstrează indirect fezabilitatea ei. O posibilitate de reducere a riscului instabilizării provocate de diferențele dintre model și procesul real constă din introducerea unui filtru trece jos pe calea de reacție, ca în fig. 2.

Varianta din fig. 3 este echivalentă, dar cu modelul plasat în buclă închisă.

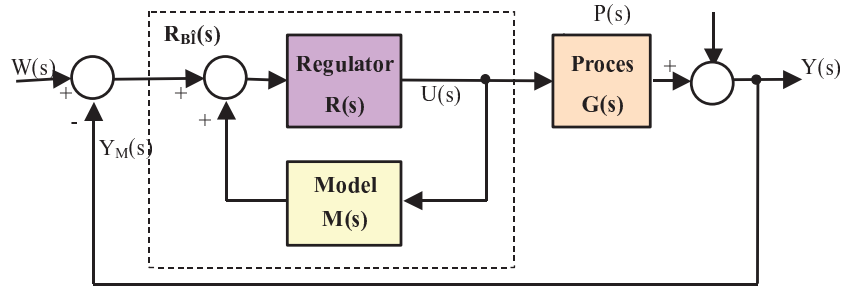


Fig. 3. Reglarea cu model intern în buclă închisă

În acest caz regulatorul în buclă închisă va avea funcția de transfer

$$R_{BI}(s) = \frac{R(s)}{1 - R(s) \cdot M(s)} \quad (9)$$

De la structura cu modelul în buclă închisă se poate ajunge la o altă variantă în care modelul este prezent atât în paralel cu procesul cât și în regulator.

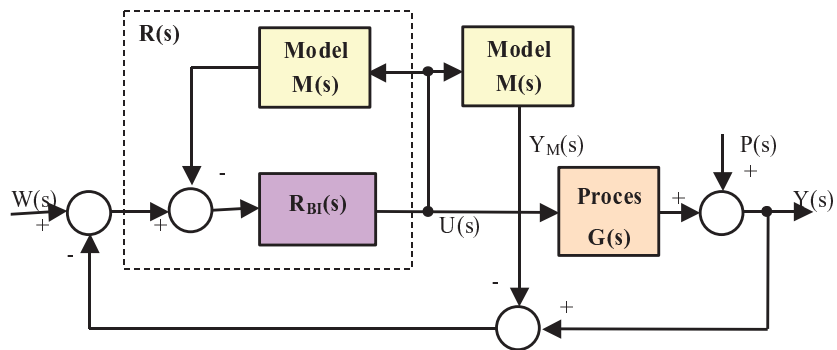


Fig. 4. Structură de reglare cu model intern

În acest caz regulatorul va avea funcția de transfer:

$$R(s) = \frac{R_{BI}(s)}{1 + R_{BI}(s) \cdot M(s)} \quad (10)$$

Când în componența regulatorului în buclă închisă $R_{BI}(s)$ există un integrator, în regim staționar regulatorul $R(s)$ se identifică cu $M^{-1}(s)$.

2.2. Identificarea proceselor prin metoda modelului intern

Metoda modelului intern poate fi reorientată în sensul identificării procesului: *în loc ca procesul să urmărească automat modelul de referință, modelul va urmări automat evoluția procesului*. Schema bloc a procedurii este prezentată în fig. 5. Avantajul acestei abordări a modelării este acela că oferă premisa identificării on-line a întregului set de parametri interni ai procesului, cu condiția ca modelul să fie determinist, adică să respecte legăturile funcționale dintre parametrii procesului.

Este de remarcat că procesul de actualizare a parametrilor modelului poate fi privit și ca un proces de *învățare automată*.

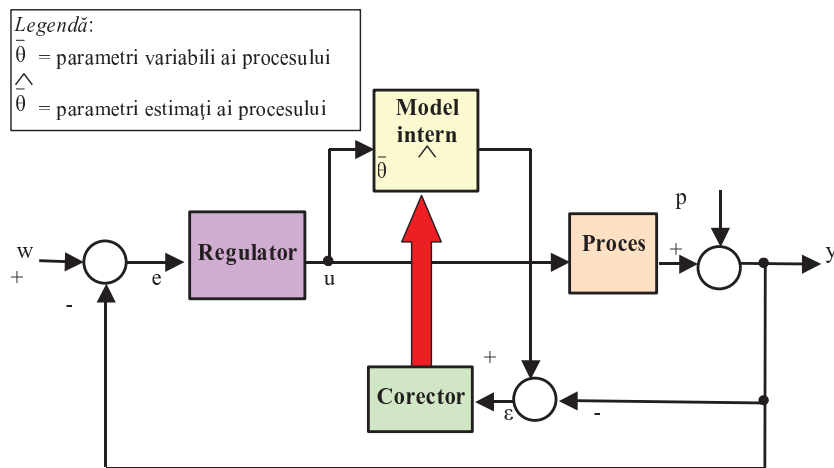


Fig. 5. Identificarea unui proces prin metoda modelului intern

Principala dificultate apare la proiectarea corectorului, atunci când nu dispunem de informații precise referitoare la modul de acțiune a parametrilor asupra procesului. În acest caz se ridică problema convergenței algoritmului de corecție în sensul relației (4) precum și problema stabilității acțiunii corectoare, întrucât bucla de reacție dintre corector și modelul intern poate ea însăși

genera instabilitate. Stabilitatea identificării cu model intern poate fi studiată doar în cazuri concrete, în care se cunoaște precis legea de corecție adaptivă.

Ecuatiile care modelează structura din fig. 5 sunt:

$$\begin{cases} U(s) = \frac{R(s)}{1 + R(s) \cdot G(s)} \cdot W(s) - \frac{R(s)}{1 + R(s) \cdot G(s)} \cdot P(s) \\ Y(s) = \frac{R(s) \cdot G(s)}{1 + R(s) \cdot G(s)} \cdot W(s) + \frac{P(s)}{1 + R(s) \cdot G(s)} \\ \varepsilon(s) = (M(C(s)) - G(s)) \cdot U(s) - P(s) \end{cases} \quad (11)$$

2.3. Soluții de modelare și de implementare a modelelor

În abordările teoretice se utilizează tot mai mult *modele deterministe structurale cu timp continuu*, cum sunt cele de tip SIMULINK – MATLAB. Avantajul lor principal este transparența față de raționamentul uman și apropierea de natura fizica, continuă, a proceselor modelate. În plus reprezentarea prin scheme bloc este cea mai adecvată sistemelor complicate, cu multe interconexiuni între module.

Implementările se obțin de regulă cu modele în timp discret, compatibile cu procesoarele utilizate în ceea ce privește limbajul de programare.

O soluție eficientă de implementare constă din utilizarea rețelelor de interpolare [2]. În principiu orice dependență funcțională poate fi aproximată cu ajutorul rețelelor interpolative, cu o anumită precizie, care depinde de numărul nodurilor de interpolare. În mediul MATLAB rețelele interpolative se pot implementa cu ajutorul tabelor de căutare multi-dimensionale. În limbajele de nivel înalt implementările se pot realiza prin intermediul ariilor multidimensionale. Aceste structuri pot fi implementate ușor în cazul microprocesoarelor sau microcontrolerelor și chiar în tehnologii analogice [7].

În oricare dintre variante problema principală a modelării este realizarea unei concordanțe cât mai bune între model și proces, în regim staționar cât și în regim dinamic. În cazul proceselor liniare simple, identificabile cu precizie, modelarea nu ridică probleme. În cazul în care caracteristica intrare-ieșire a

procesului este bijectivă se pot construi modele inverse cu scopul asigurării condiției (8) teoretic sub forma:

$$M(s) = G^{-1}(s) \quad (12)$$

iar practic sub o formă modificată, corespunzătoare posibilității de realizare fizică aproximativă a lui $G^{-1}(s)$.

Atunci când complexitatea procesului modelat este prea mare sau nu se dispune de un model determinist al procesului, dar există totuși informații calitative, de tip expert, referitoare la intercondiționările funcționale dintre parametrii modelului, se poate apela la tehnologiile fuzzy. De exemplu în [1] se propune o variantă de conducere pe bază de model de referință cu model intern de tip fuzzy.

Modelele fuzzy des întâlnite în literatură pot fi clasificate în trei categorii:

- a) Modelele lingvistice, introduse de Lotfi A. Zadeh în [Zade75].
- b) Modele cu relații fuzzy introduse de W. Pedricz și E. Czogala în [Pedr81].
- c) Modele Takagi-Sugeno introduse în [Taka85].

În [1] varianta aleasă este c, cea mai avantajoasă din punct de vedere al implementării. În aceeași lucrare se propune și o metodă de inversare a modelelor de tip Takagi-Sugeno: pseudoinversiunea.

Considerând o regulă de forma: „**Dacă** procesul este în starea \bar{x}_i și se aplică comanda \bar{u}_j **atunci ieșirea este** $\bar{y}_{(i,j)}$ ”, ea va avea inversa de forma: „**Dacă** procesul este în starea \bar{x}_i și dorim ieșirea $\bar{y}_{(i,j)}$ **atunci se aplică comanda** \bar{u}_j . Pentru a nu rezulta reguli contradictorii funcția $\bar{y}_{(i,j)}$ trebuie să fie bijectivă.

Modelele fuzzy se pot aplica atunci când nu este necesară sau posibilă modelarea precisă a procesului. Când nici modelarea fuzzy nu este productivă se poate apela la rețelele neuronale sau la alte metode de învățare artificială.

3. Senzori cu model intern

3.1. Senzori adaptivi cu model intern

Deseori măsurătorile asupra proceselor conduse automat sunt afectate de erori, din diferite cauze: derive în timp ale valorilor componentelor electronice din echipamente, sensibilități limitate, perturbații externe, etc. Incertitudinea introdusă astfel se numește *incertitudine de ordin 1* [5]. Mai mult, procesele și măsurătorile aferente lor sunt de regulă afectate de *incertitudini de ordin 2* care țin de cunoașterea insuficientă a procesului sau echipamentelor de conducere. Un astfel de caz apare de exemplu la măsurarea temperaturii aerului din interiorul unei încălzi condiționate. Circulația aerului, inerțiile termice, influențele pereților și alți factori creează distribuții complexe și nerepetitive ale temperaturii aerului atât în spațiu cât și în timp. Măsurarea temperaturii va fi în consecință influențată de poziția senzorului, fără a se putea defini în mod fundamentat o poziție optimă.

Pentru măsurări în condiții de incertitudine este recomandabilă extragerea unei cantități cât mai mari de informație din datele disponibile. În acest scop, pe lângă tehnica modelului intern se va apela și la *fuzionarea datelor*, cele două tehnici putând conlucra extrem de eficient. Prin fuzionarea datelor se obține atât extinderea domeniului de măsură cât și creșterea fiabilității;

Modelul intern, care include toate cunoștințele apriorice disponibile despre senzor și proces poate fi inclus în structura senzorului ca și în fig. 6. Apelarea la modelul intern poate viza mai multe obiective:

- îmbunătățirea funcționării: creșterea preciziei, scăderea timpului de răspuns, rejectarea perturbațiilor, etc.;
- validarea măsurătorilor;
- diagnosticarea funcționării și a stării tehnice a senzorului;
- estimarea mărimilor fizice ne-măsurabile sau greu accesibili și a indicilor de performanță sintetici;
- adaptarea la condițiile de măsurare și la starea tehnică.

Rezultă o structură originală de *senzor inteligent adaptiv cu model intern* SIAMI [9]. Se au în vedere structuri complexe de senzori, în care există cât mai mulți senzori lucrând în redundanță, la care rezultatul final al măsurătorii se obține prin fuzionarea informațiilor primare. Modelul intern va acționa asupra rezultatului final al măsurătorii sau estimării prin intermediul mecanismului de fuzionare. Schema bloc SIAMI este reprezentată în fig. 6.

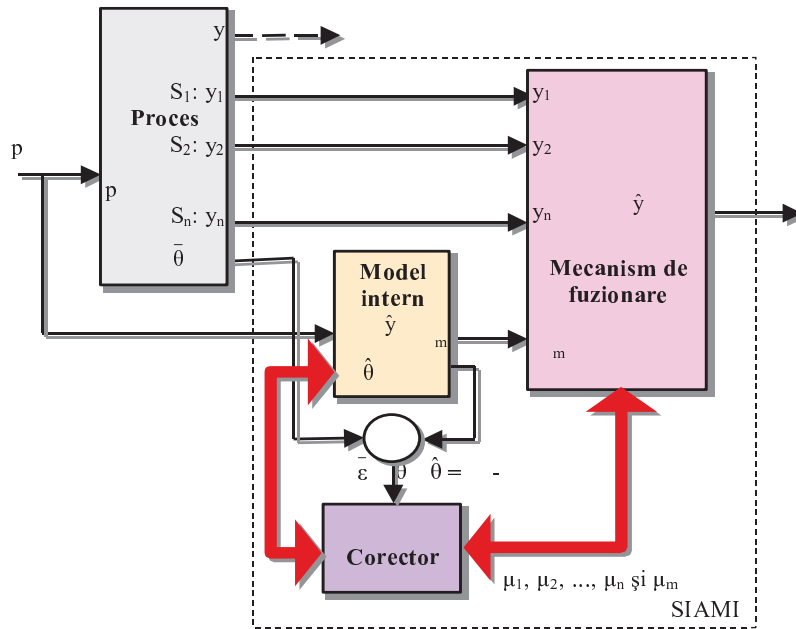


Fig. 6. Structura SIAMI

Elementele componente ale SIAMI sunt:

- *Procesul*: caracterizat de incertitudinea referitoare la mărimea de ieșire și la măsurarea ei. El include n senzori primari S_1, S_2, \dots, S_n care măsoară în paralel variabila de ieșire din proces y . Din cauza incertitudinii care afectează procesul nu avem acces la ieșirea y , care trebuie estimată. Mărimea de intrare este p , mărimile de ieșire sunt y și semnalele celor n senzori y_1, y_2, \dots, y_n iar mărimile de stare sunt incluse în vectorul mărimilor de stare $\bar{\theta}$.

▪ *Modelul intern* are ca intrare mărimea de intrare în proces p , ca ieșire estimata modelului \hat{y}_m și ca mărimi de stare estimata vectorului mărimilor de stare $\hat{\theta}$.

▪ *Mecanismul de fuzionare*: calculează estimata ieșirii procesului \hat{y} pe baza unor grade de încredere în fiecare dintre senzorii primari. $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ precum și a gradului de încredere în model μ_m . Se pot utiliza diferite legi de agregare, inclusiv fuziunea fuzzy. Intrări sunt semnalele celor n senzori y_1, y_2, \dots, y_n și estimata modelului \hat{y}_m , ieșire estimata mărimii de ieșire \hat{y} și mărimi de stare $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ și μ_m .

▪ *Corectorul* – îndeplinește două funcții fundamentale:

- a) adaptarea on line a modelului intern al procesului, astfel ca acesta să urmărească cât mai fidel evoluția parametrilor funcționali ai procesului real,
- b) validarea senzorilor primari și a modelului (calculul gradelor lor de încredere) face pe baza datelor tehnice ale senzorilor primari (domenii de funcționare, precizii, perturbații, viteza de răspuns, etc.). Validarea se cumulează cu corecția deoarece în corector sunt centralizate deja datele necesare adaptării.

La stabilirea gradelor de încredere se au în vedere mai multe obiective:

- asigurarea unei precizii maxime pe un domeniu cât mai mare de funcționare. Pentru aceasta se vor atribui valori maxime de încredere pentru acei senzori care în punctul de măsură au precizie maximă,
- asigurarea unei viteze de răspuns cât mai bună. Compensarea inerției senzorilor primari pe durata regimurilor tranzitorii poate fi obținută prin utilizarea mărimii estimate de către model \hat{y}_m ,
- creșterea fiabilității prin diagnosticarea senzorilor primari, ale căror indicații sunt comparate cu \hat{y}_m . Gradul de încredere în senzorii care nu funcționează corect conform criteriilor diagnozei este anulat.

Adaptarea modelului intern și fuziunea informației disponibile sunt afectate de incertitudine, din cauza complexității și neliniarității proceselor, fiind

imposibilă identificarea unei soluții general aplicabile pentru corector. Doar abordările *euristice* sunt posibile în fiecare caz. În această situație este recomandabilă alegerea unui corector adaptiv fuzzy, care poate fi implementat prin metodologia fuzzy-interpolativă [7], bazată pe echivalențele posibile dintre controlerele fuzzy și cele interpolative cu interpolare liniară.

În cazul fuziunii fuzzy se pot distinge trei niveluri de fuzzycitate:

- *fuziunea non-fuzzy*, cazul tipic fiind cel al sumei ponderate:

$$y = \frac{\sum_i \mu_i(y_i) \cdot y_i}{\sum_i \mu_i(y_i)} \quad (13)$$

- *fuziunea ponderată fuzzy*, în care fuziunea propriu-zisă este suma ponderată dar gradele de încredere sunt determinate prin metode fuzzy;

$$y = \frac{\sum_i \mu_i(\text{fuzzy}(y_i)) \cdot y_i}{\sum_i \mu_i(\text{fuzzy}(y_i))} \quad (14)$$

- *fuziunea fuzzy propriuzisă*

Senzorii primari prezintă erori, conform principiilor lor de funcționare, a particularităților constructive, a influenței mediului și a stării lor tehnice.

$$y_i(t) = S_i(y(t)) \quad (15)$$

Funcțiile de intrare-ieșire ale senzorilor $S_i(y(t))$ pot fi determinate doar experimental, prin etalonarea senzorilor. Indicațiile $y_i(t)$ sunt ponderate prin gradele de încredere aferente fiecărui senzor $\mu_i(y(t))$, rezultând n termeni de forma $\mu_i(y(t)) \cdot y_i(t)$, care sunt agregați prin mecanismul de fuzionare, împreună cu termenul corespunzător modelului intern $\mu_m(y(t)) \cdot y_m(t)$:

$$\hat{y} = \text{Fuz}_{i=1}^n(\mu_i(y(t)) \cdot y_i(t), \mu_m(y(t)) \cdot y_m(t)) \quad (16)$$

Fuzionarea este ortonormată când gradele de încredere respectă relația:

$$\mu_m(y(t)) + \sum_{i=1}^n \mu_i(y(t)) = 1 \quad (17)$$

3.2. Estimatoare cu model intern

Modelele interne permit estimarea mărimilor imposibil de măsurat direct. Un exemplu în acest sens este estimarea vitezei unui vehicul, în timpul frânelor ABS, pe durata regimului de alunecare a roților [9]. Senzorii de turație care echipează fiecare roată nu mai sunt utili în timpul alunecării, pentru că roțile nu mai păstrează contactul cu calea de rulare.

Estimatorul este asemănător cu SIAMI, întrucât funcționează prin fuziunea unor semnale ale vitezei vehiculului provenite din mai multe surse:

- $\max(v_{w_i})$: maximul dintre indicațiile senzorilor fiecărei roți;
- \hat{v}_{car_a} : estimarea vitezei prin integrarea semnalului unui accelerometru;
- $\hat{v}_{car_{model}}$, estimata vitezei vagonului obținută cu ajutorul unui model intern al instalației de frânare ABS, care are ca intrare principală presiunea P din cilindrul de frână.

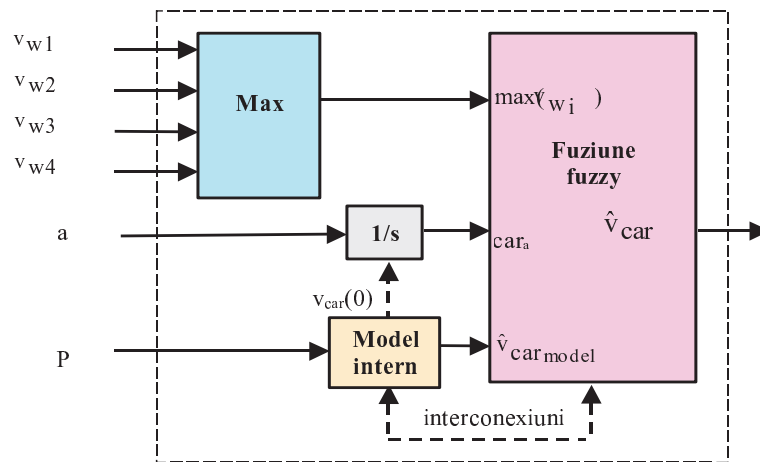


Fig. 7. Estimatorul vitezei unui vehicul pe durata alunecării roților

Rolul modelului intern este complex:

- identificarea regimului de funcționare a frânei ABS, inclusiv $v_{car}(0)$;
- calcularea gradelor de încredere în senzorii primari, în funcție de regimul de funcționare;

- calcularea unei estimări $\hat{v}_{\text{car model}}$ care să poată interveni direct în fuziunea fuzzy atunci când încrederea în senzorii primari este scăzută și care în același timp poate să asiste diagnosticarea on-line a senzorilor primari;
- estimarea on-line a aderenței roată-șină în vederea adaptării regulatorului ABS la variațiile ei.

Aderența dintre roată și calea de rulare este o mărime extrem de greu de măsurat direct, în alte condiții decât cele de laborator. Ea depinde de mulți factori (coeficientul de frecare dintre roată și calea de rulare, condiții climatice, starea tehnică, curățenie, etc.) prezentând și variații aleatorii puternice.

Aderența poate fi estimată on-line, în timp real, prin metoda din fig. 8.

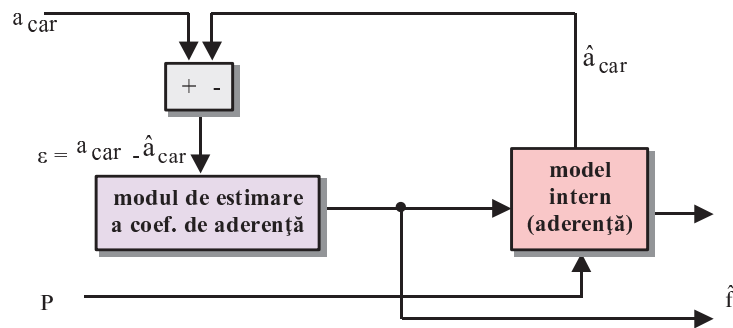


Fig. 8. Estimarea aderenței cu ajutorul modelului intern

Metoda presupune compararea dintre accelerația furnizată de modelul intern cu cea măsurată direct, prin accelerometrul piezoelectric. Întrucât principalul parametru care influențează frânarea este chiar aderența, diferențele dintre cele două accelerații pot fi atribuite în principal necunoașterii ei. Modulul de estimare a coeficientului de aderență va furniza modelului valori numerice astfel încât să minimizeze eroarea ε . Valoarea care produce într-un anumit moment minimizarea lui ε este chiar estimata aderenței \hat{f} [9].

O altă aplicație a SIAMI apare la măsurarea temperaturii în cuptoarele de tratamente termice [8]. În acest caz ponderea modelului intern este crescută pe durata regimurilor tranzitorii, când senzorii primari sunt afectați de inerție.

4. Aplicații ingineresti ale modelelor interne

a) Evaluarea uzurii frânelor și roților

În timpul exploatării vagoanelor apare uzura componentelor aflate în mișcare, în special a discului și garniturilor de frecare pentru frâna cu disc și a bandajelor pentru roți. Evident, uzura este periculoasă, și ea trebuie ținută sub control, pentru a evita accidentele. Pentru stabilirea uzurii, singura metodă utilizată curent este inspectare vizuală și măsurarea gabaritelor pieselor. Prin estimarea automată a uzurii s-ar obține creșterea siguranței circulației înlăturând riscurile evaluării subiective, și pe de altă parte s-ar evita cheltuielile inutile produse în cazul înlocuirii unor elemente neuzate. Viteza de uzare w , măsurată în $\mu\text{m}/\text{km}$ este puternic neliniară. Principalii factori de influență sunt viteza relativă dintre elementele de fricțiune v și forța de frecare f , dar mai pot fi menționați temperatura, calitatea montajului, uzura, etc.

Uzura poate fi estimată prin integrarea dependenței $w(v, f)$ pe durata frânării în cazul frânei sau a rulării, în cazul roților. Variația în timp a parametrilor este reprodusă cu ajutorul unui model al vagonului care are ca variabilă de intrare presiunea din cilindru de frână al vagonului [9], [10].

b) Creșterea siguranței circulației prin utilizarea modelului intern

Nu cu mulți ani înainte a avut loc o catastrofă feroviară prin deraierea Inter-City-ului german. Se pare că ea a fost produsă prin desprinderea unui bandaj de oțel al roții, care era la rândul său montat pe un bandaj de cauciuc. În momentele premergătoare deraierii, vagonul în cauză s-a comportat anormal o perioadă de timp, în care s-au produs vibrații accentuate. Se poate afirma că prin utilizarea unui model intern al indicelui de mers al vagonului ca funcție de viteza de mers și de caracteristicile ale traseului (raza de curbură, calitatea șinei, înclinarea șinei, etc.), s-ar putea evita pe viitor astfel de catastrofe. Nivelul vibrațiilor reale ale vagonului poate fi comparat cu cel furnizat de model, iar la apariția unor anomalii se poate apela la o procedură de frânare controlată a garniturii, cu frânarea mai accentuată a ultimelor vagoane astfel încât să se evite deraierea [11].

5. Concluzii

Exemplele trecute în revistă pe scurt în lucrare ilustrează potențialul uriaș al modelelor interne de a introduce elemente de inteligență artificială în regulatoare adaptive, senzori inteligenți și estimatoare. Aplicațiile ingineresti pot de asemenea beneficia de asistența modelelor interne.

Principalele direcții de cercetare din acest domeniu sunt legate de:

- metodologia de identificare automată (învățare) a modelelor complicate;
- studiul metodelor de implementare a modelelor prin limbaje de programare de diferite nivele, atât pentru aplicațiile de robotică și reglare avansată cât și pentru cele scrise la nivel de microcontrolere și DSP.

Bibliografie

- [1]. R. Boukezzula, S. Galichet, L. Foulloy, "Comande a Modele Interne Flou", Actes des rencontres francophones sur la logique floue et ses applications, Lyon, France, pp.11-16, 3-4 Dec. 1997.
- [2]. T.L. Dragomir, S. Dale, M. Bălaș, "Some aspects regarding Interpolative Control", Proceedings of the 13-th International Conference on Control Systems CSCS13, București, Nov. 2001.
- [3]. I. Dumitrache și colectiv, "Automatizări electronice", Editura Didactică și Pedagogică, București, 1993.
- [4]. L. Friot, "Méthodologie de mise en oeuvre d'une régulation de climatisation par modeles interne appliquée au transport ferroviaire", thèse de doctorat, Poitiers, 1995.
- [5]. M. M. Gupta. "Cognition, Perception and Uncertainty", Fuzzy Computing Theory. Hardware and Applications, Elsevier, Amsterdam, pp. 1-10, 1988.
- [6]. L. Saidi, "Comande a modeles interne: inversion et equivalence structurelle", thèse de doctorat, Université de Savoie, 1996.
- [7]. M. Bălaș, "Regulatoare fuzzy interpolative", Ed. "Politehnica" Timișoara, 2002.
- [8] V. Bălaș, "Senzori inteligenți cu model intern și tehnici fuzzy", teză de doctorat, Timișoara, 2003.
- [9] M. Bălaș, V. Bălaș, L.S. Bocii, I. Radu, I. Koles, "The real time evaluation of the weariness of the disk brake", VSDIA 2002: The 8-th International Mini-Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, Nov. 2002.
- [10] M. Bălaș, V. Bălaș, C. Barna, J. Duplaix, Gh. Gherman, R.E. Precup, "The real time evaluation of the weariness of the wheels' tread for railway vehicles", BOGIE04: The 6-th Int. Conf. on Railway Bogies and Running Gears, Budapest, Sept. 2004.
- [11] M. Bălaș, V. Bălaș, "Utilitatea modelelor interne pentru vagoanele de călători", Analele Universității "Aurel Vlaicu" din Arad, Nov. 2002, seria Electrică, fascicula Electrotehnică, Electronică, Automatizări, pag. 19-26.