



Academia Oamenilor de Știință din România
The Romanian Academy of Scientists

SISTEM DE NAVIGAȚIE ȘI CONTROL PENTRU MISIUNI MILITARE ÎN MEDII CU BRUIAJ GNSS

Raport tehnic de cercetare nr. 3

Director de proiect

Ing. Ioana-Raluca Adochiei



CUPRINS

Capitolul 1. Îmbunătățirea preciziei senzorilor inerțiali prin utilizarea structurilor de control inteligent



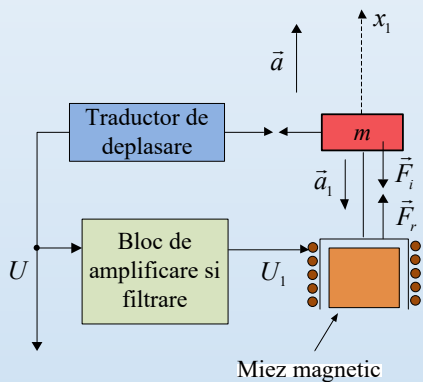
Capitolul 2. Algoritmi de fuziune a datelor obținute de la senzori inerțiali în configurații liniare redundante

Concluzii

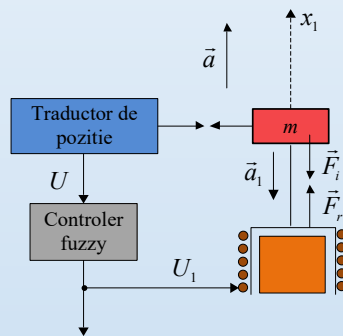
Capitolul 1

Îmbunătățirea preciziei senzorilor inerțiali prin utilizarea structurilor de control inteligent

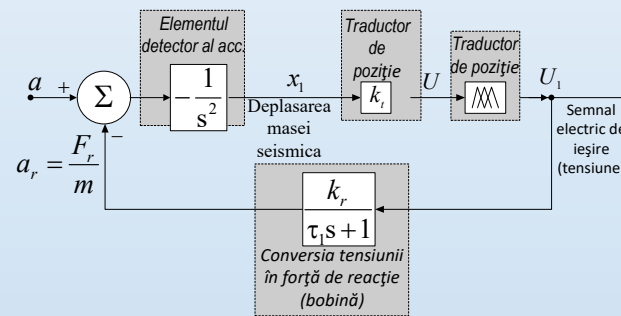
Îmbunătățirea performanțelor unui accelerometru miniaturizat cu reacție magnetică



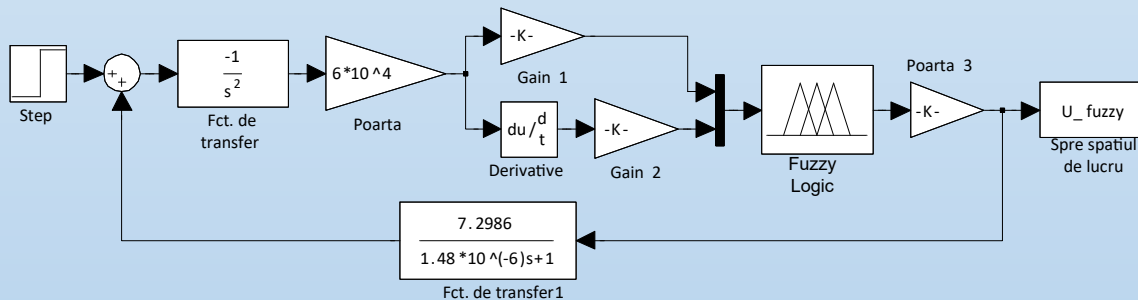
Schema funcțională a accelerometrului



Noua schemă funcțională a accelerometrului



Schema bloc a accelerometrului folosind un controler fuzzy



Modelul Matlab/Simulink al accelerometrului utilizând controlerul fuzzy

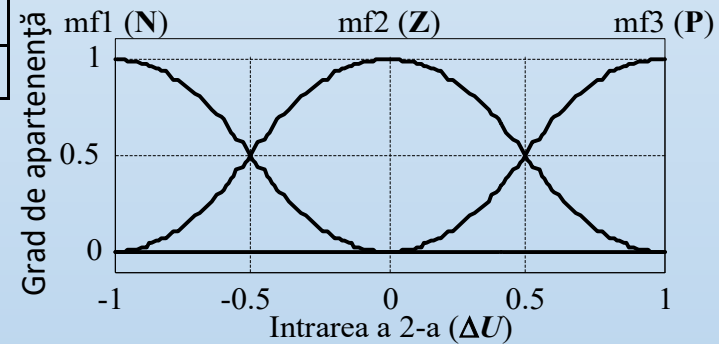
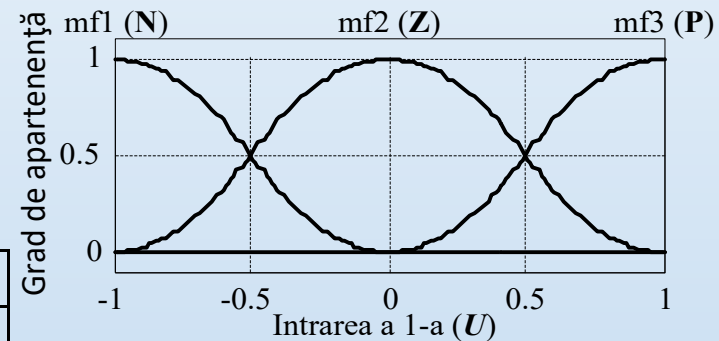
Capitolul 1

Pentru un sistem cu două intrări și o ieșire, regula fuzzy are forma:

“daca (x_1 este A) si (x_2 este B) atunci $y = f(x_1, x_2)$ ”,

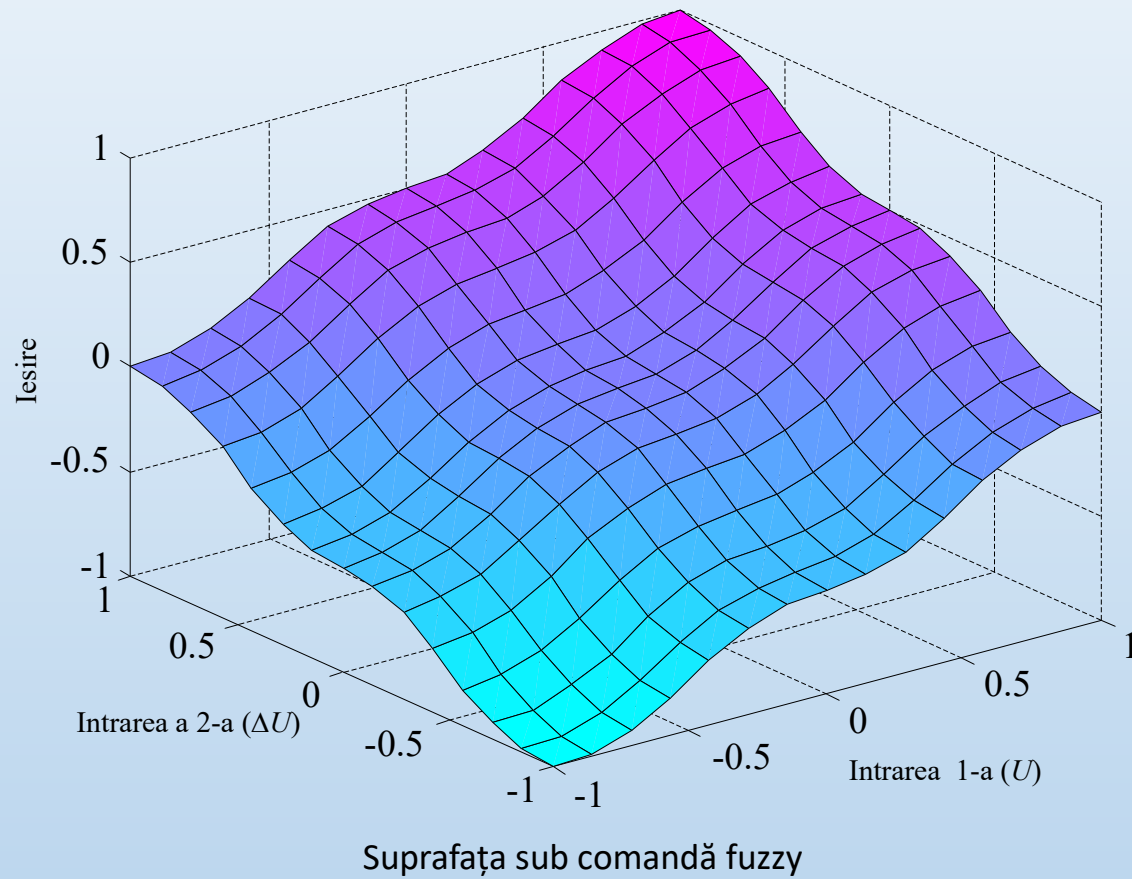
Tabelul de reguli al controlerului fuzzy cu buclă de reacție

$\Delta U/(U)$	N	Z	P
N	NB (-1)	NS (-0.5)	Z (0)
Z	NS (-0.5)	Z (0)	PS (0.5)
P	Z (0)	PS (0.5)	PB (1)



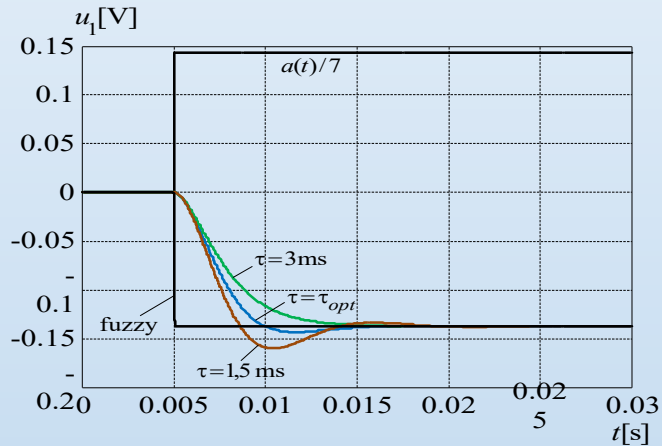
Funcții de apartenență și inferență pe bază de reguli

Capitolul 1



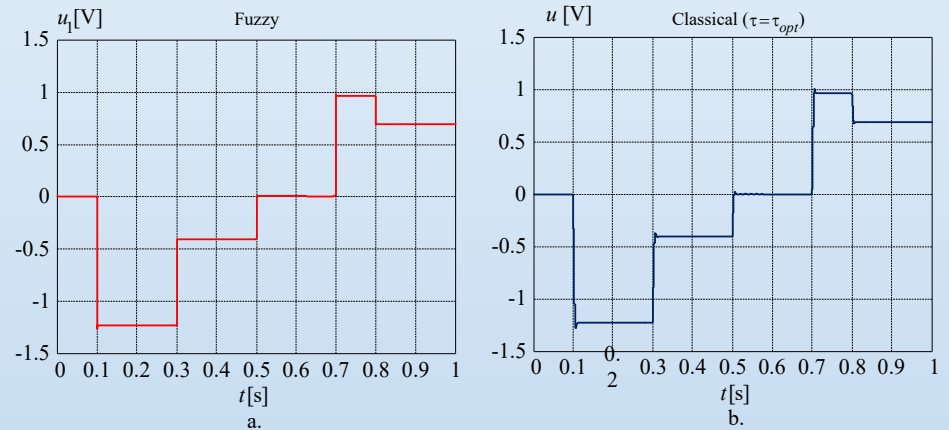
ANALIZĂ COMPARATIVĂ

Simulări numerice



Răspunsul indicial:
fuzzy în raport cu răspunsul clasic

Test calitativ al noii arhitecturi



Răspunsul în timp
în cazul aplicării unei
acelerații de tip treaptă

**S-a obținut o îmbunătățire a timpului de răspuns
de aproximativ 153 de ori!**

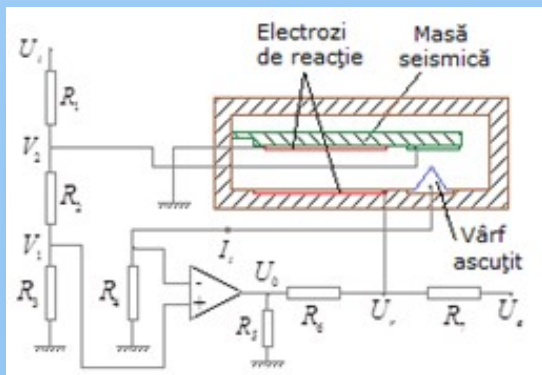
Studiu numeric comparativ

- 1) coordonatele vehiculului obținute prin metoda teoretică $x = 1.525$ m;
- 2) coordonatele vehiculului din simularea numerică a arhitecturii cu controler fuzzy $x_{fuzzy} = 1.5248065$ m;
- 3) coordonatele vehiculului de la simularea numerică a arhitecturii clasice $x_{classical} = 1.5232985$ m.

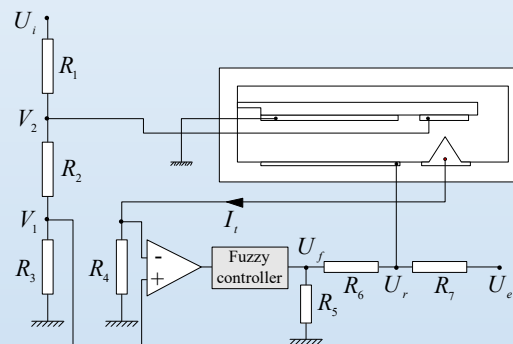
Erorile relative de poziționare care apar în cele două cazuri:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{fuzzy} = 1.268 \cdot 10^{-2} \% \\ \varepsilon_{classical} = 0.1115 \% \end{array} \right.$$

Îmbunătățirea performanțelor unui accelerometru miniaturizat cu tunelarea electronilor

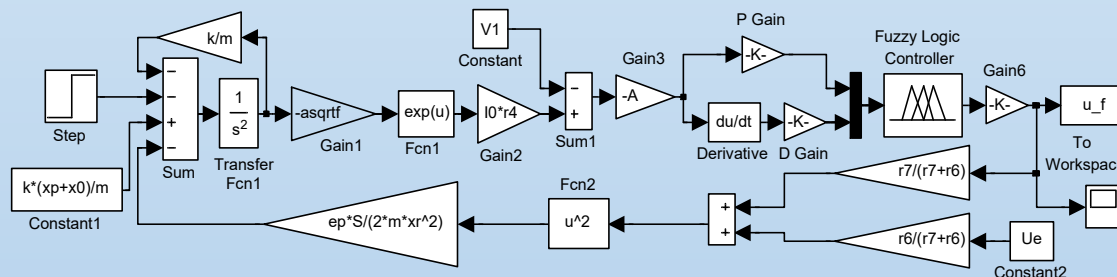


Schema de funcționare a unui accelerometru cu tunelare de electronilor



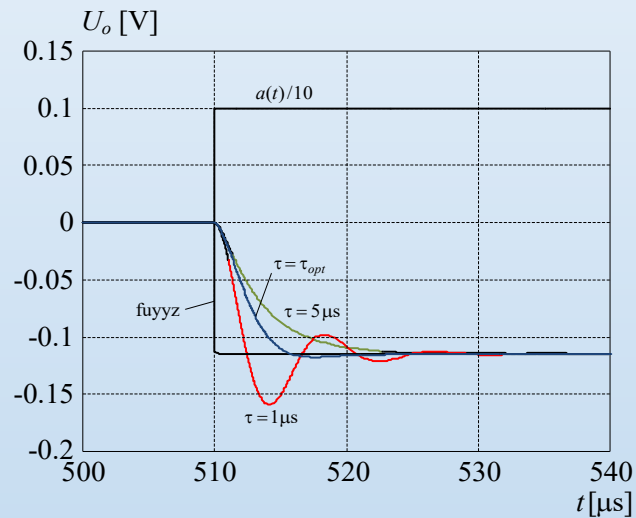
Noua schemă funcțională a accelerometrului

Modelul Matlab Simulink al accelerometrului utilizand controlerul fuzzy



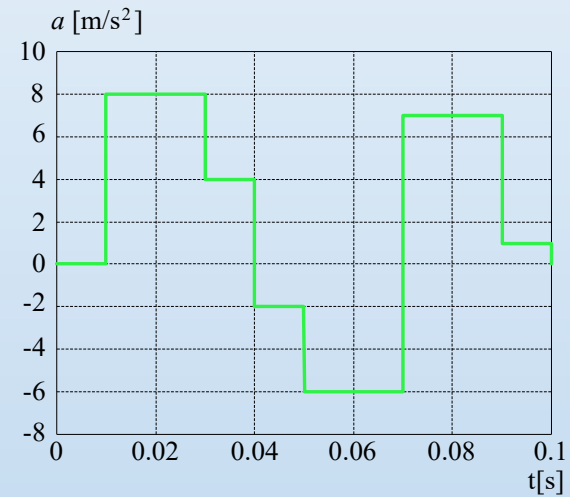
ANALIZĂ COMPARATIVĂ

Simulări numerice



Răspunsul indicial fuzzy
în raport cu răspunsul clasic

Test calitativ al noii arhitecturi



Răspunsul în timp
în cazul aplicării unei
acelerații de tip treapta

**S-a obținut o îmbunătățire a timpului de răspuns
de aproximativ 160 de ori!**

Test calitativ al noii arhitecturi

1) Coordonatele vehiculului prin metoda teoretică $x_t = 123.5 \cdot 10^{-4}$ m;

2) Coordonatele vehiculului de la simularea numerică a arhitecturii incluzând controlerul fuzzy

$$x_{fuzzy} = 123.5000208 \cdot 10^{-4} \text{ m};$$

3) Coordonatele vehiculului de la simularea numerică a arhitecturii clasice

$$x_{classical} = 123.50021 \cdot 10^{-4} \text{ m}.$$

4) Erorile de poziție relative care apar în cele două cazuri sunt

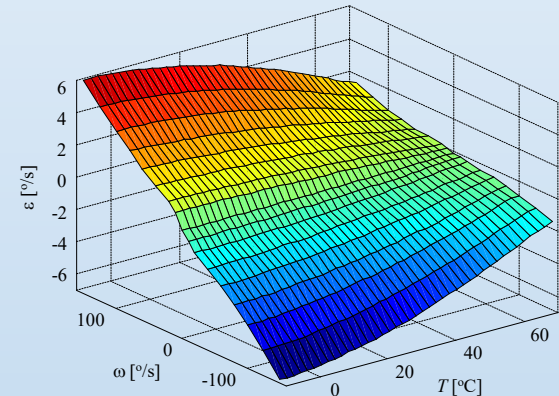
$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{fuzzy} = 1.684210^{-5} \% \\ \varepsilon_{classical} = 1.7004 \cdot 10^{-4} \% \end{array} \right.$$

Estimarea și compensarea variației bias-ului cu temperatura la un girometru MEMS folosind un controler neuro-fuzzy

O nouă metodă pentru obținerea unui senzor giroscopic miniaturizat inteligent, pe baza corectării online a erorilor datorate variației bias-ului cu temperatura, folosind un controler logic fuzzy!

1. Identificarea modelului de eroare al senzor giroscopic :

- metoda celor mai mici pătrate
- matrice Vandermonde



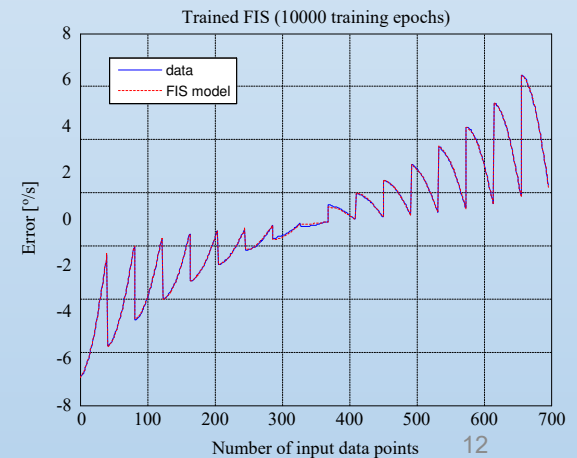
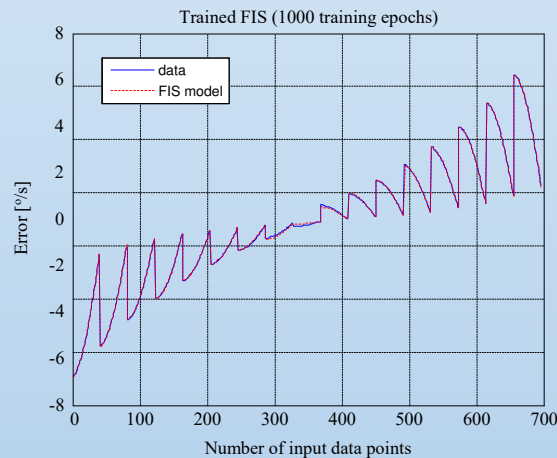
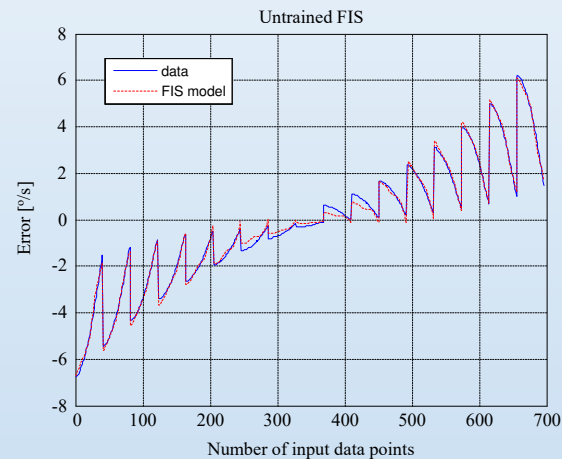
Eroare versus viteza unghiulară aplicată și temperatură

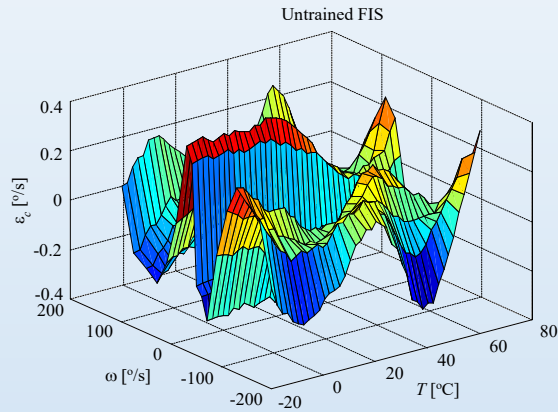
Pentru $T = -10^{\circ}C$ și $\omega = -150^{\circ}/s$ eroarea maximă absolută a girometrului datorată variației bias-ului cu temperatura a fost redusă de la $6.77324^{\circ}/s$ până la $0.45645^{\circ}/s$, **aproximativ de 14.839 de ori.**

Estimarea și compensarea variației bias-ului cu temperatura la un girometru MEMS folosind un controler neuro-fuzzy

- O nouă modalitate de identificare a modelului de eroare: FIS – ANFIS – controler logic fuzzy

Evaluarea performanțelor FIS

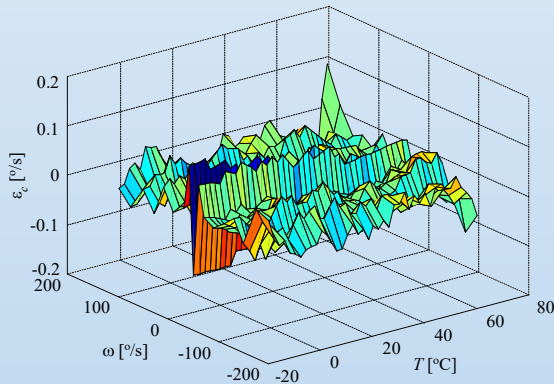




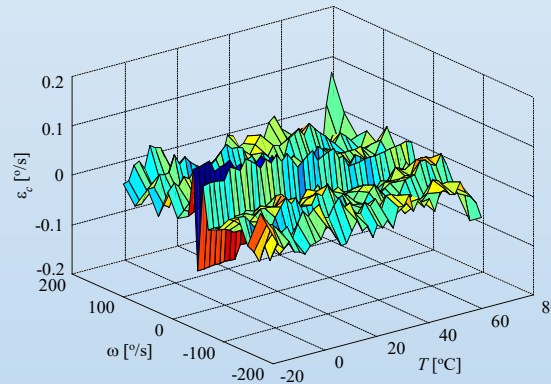
❑ FIS-ul - 10000 de epoci de instruire!

❑ Erorile maxime absolute ale giroscopului datorită variației bias-ului cu temperatura au fost reduse de aproximativ 58 de ori.

Trained FIS (1000 training epochs)



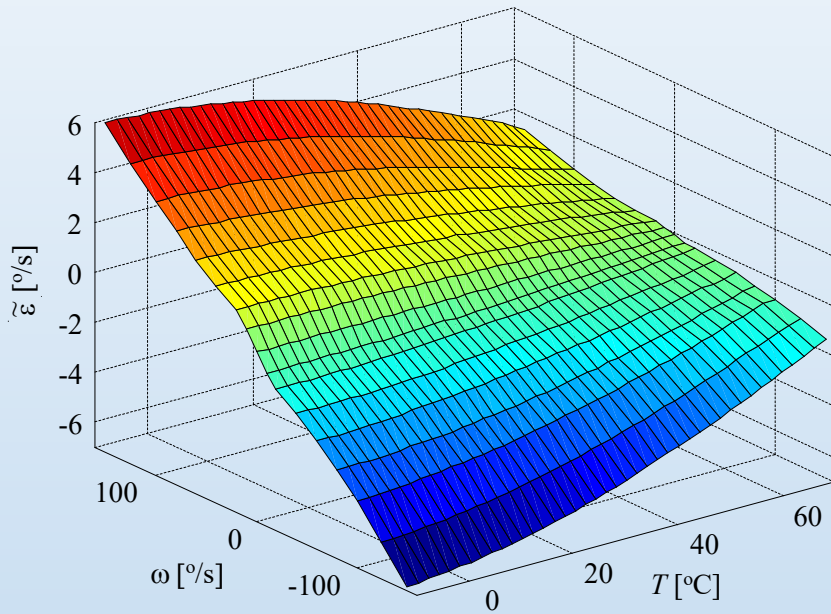
Trained FIS (10000 training epochs)



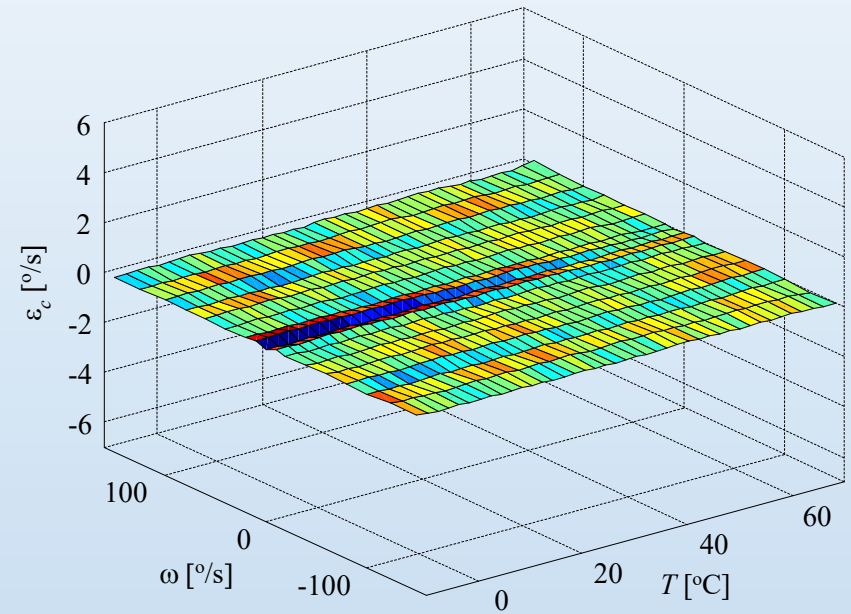
❑ Cea mai bună eroare maximă absolută a giroscopului = după compensare a fost găsită pentru $\omega = 0^\circ / s$.

ε_c în funcție de viteza unghiulară și temperatură

Trained FIS (10000 training epochs)



a.



b.

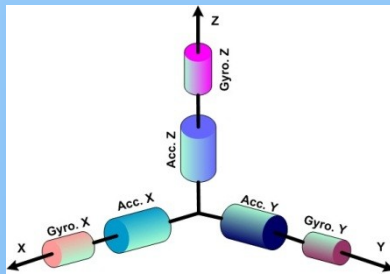
\tilde{z} VS ϵ_c

Eroarea obținută după compensare are valori apropiate de valoarea zero!

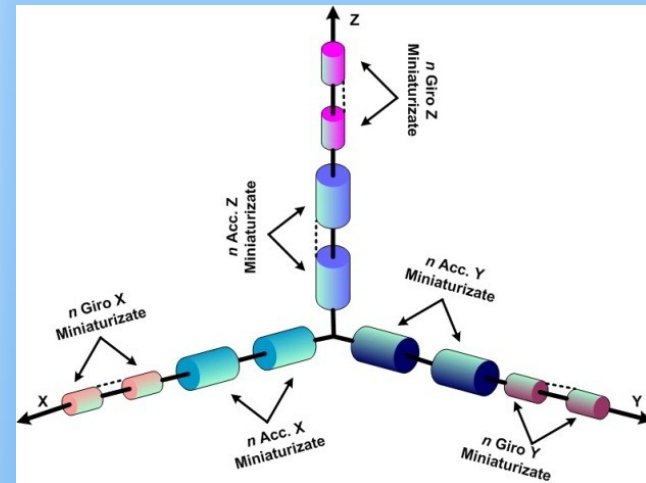
Capitolul 2

1. Trecere in revista a termenilor si caracteristicilor de bază ale fuziunii datelor multi-senzor, a principalelor metode si arhitecturi de fuziune a datelor senzorilor miniaturizați, cu aplicativitate in sistemele de navigație.

2. *Elaborare de algoritmi statistici pentru fuziunea datelor provenite de la rețele liniare redundante de senzori*



Configurația clasică a senzorilor într-un IMU

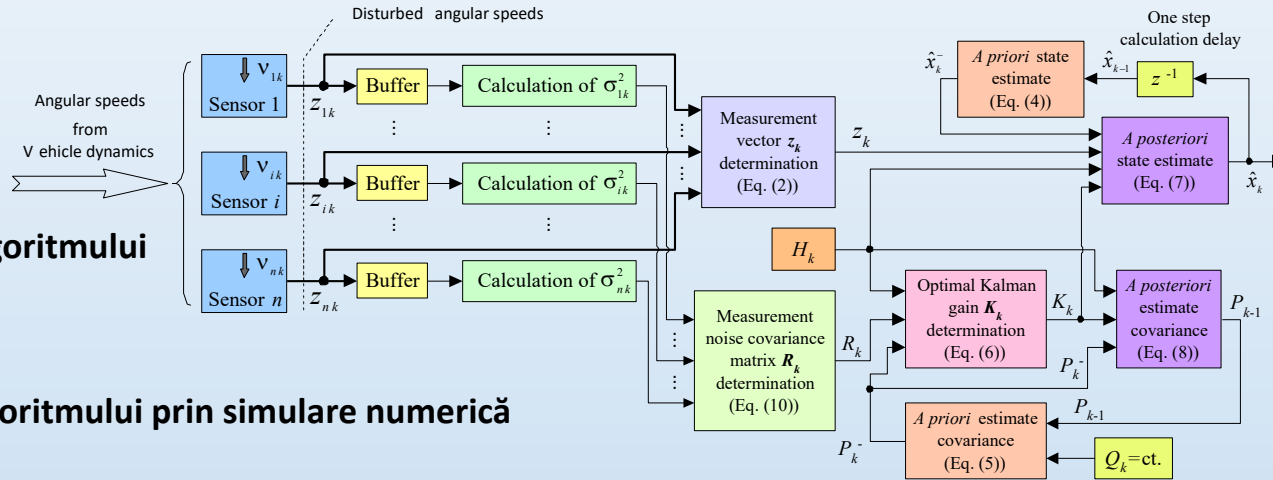


Dispunerea liniară redundanță a senzorilor în IMU

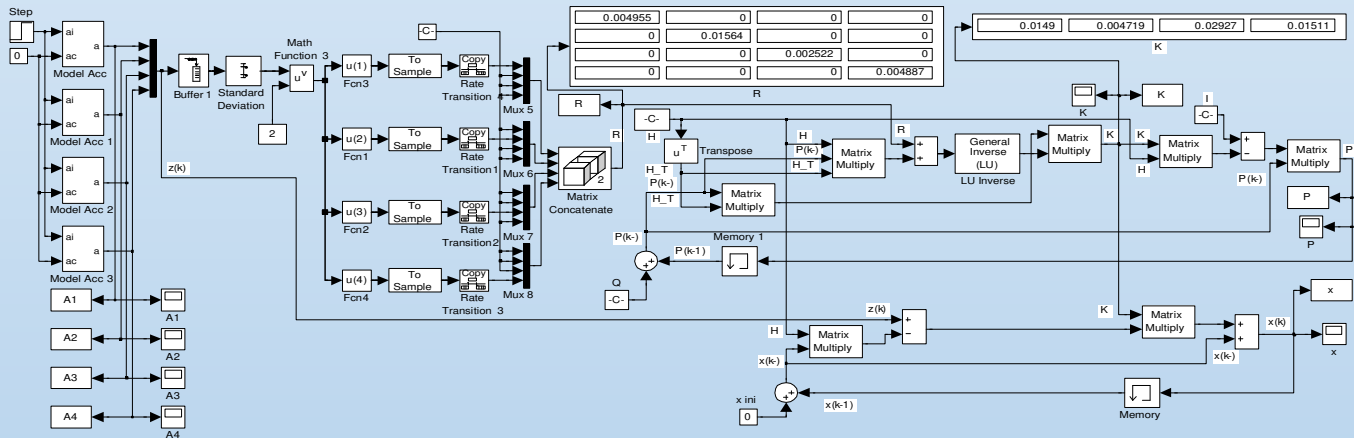
Capitolul 2

Filtrarea Kalman a datelor senzorilor inerțiali miniaturizați

Diagrama bloc a algoritmului



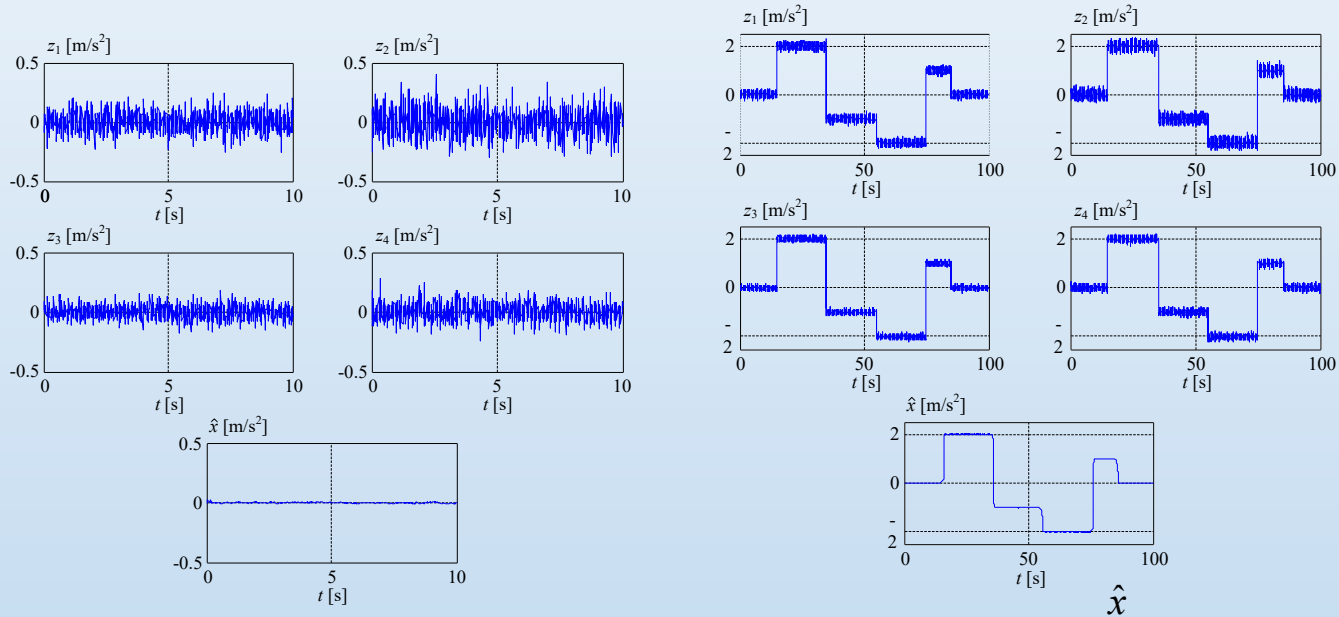
Validarea algoritmului prin simulare numerică



Modelul Matlab/Simulink pentru patru senzori în rețeaua de detecție

Capitolul 2

Pentru simulare au fost luate în calcul două cazuri ale semnalului de intrare ideal de accelerație



Măsurătorile independente
și estimata \hat{x}
pentru un semnal de intrare ideal nul

Măsurătorile independente și
estimata
pentru un semnal treaptă
ca intrare ideală

S-a achiziționat o reducere semnificativă a nivelului de zgomot!

Capitolul 2

Diminuarea zgomotului folosind logica fuzzy pentru senzori inerțiali miniaturizați în configurații redundante liniare

Ideea algoritmului: de a pondera măsurătorile realizate de către senzorii cuprinși în aceeași rețea redundată în vederea obținerii unei valori a mărimii de măsurat cât mai apropiată de realitate.

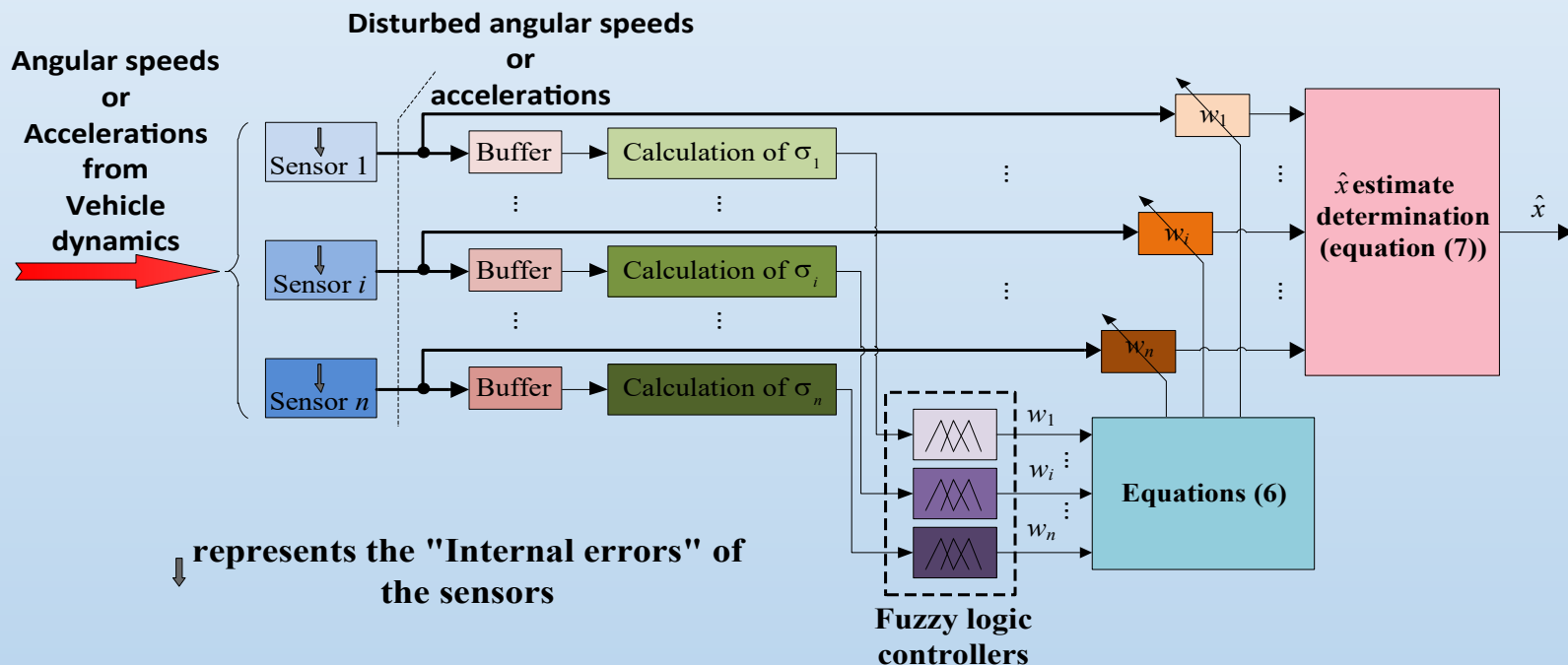
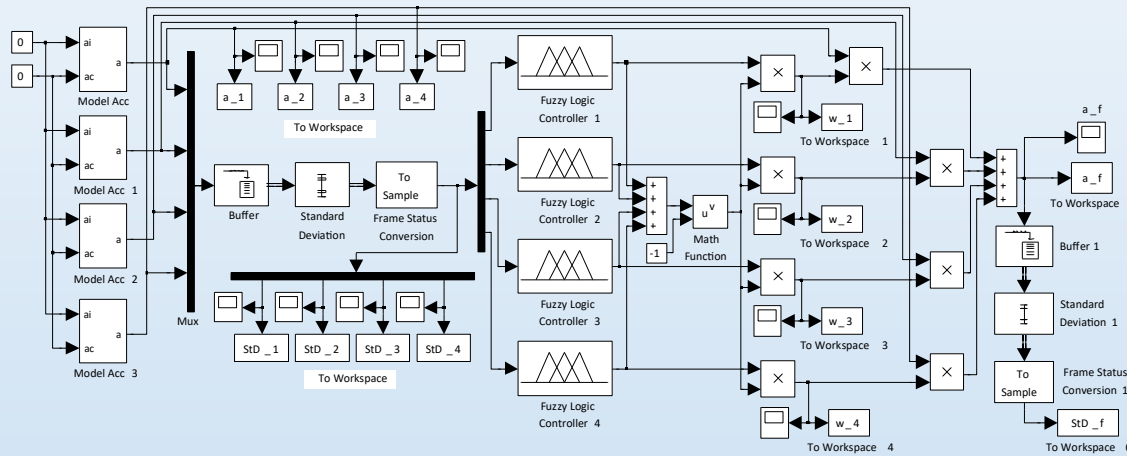


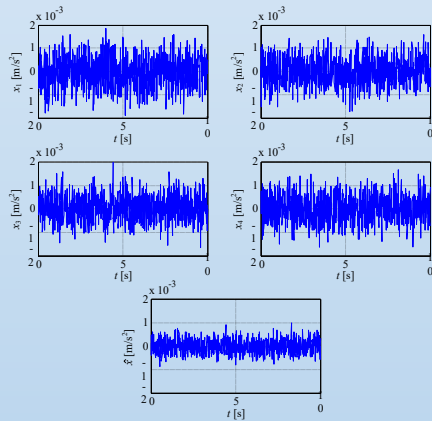
Diagrama bloc a algoritmului

Capitolul 2

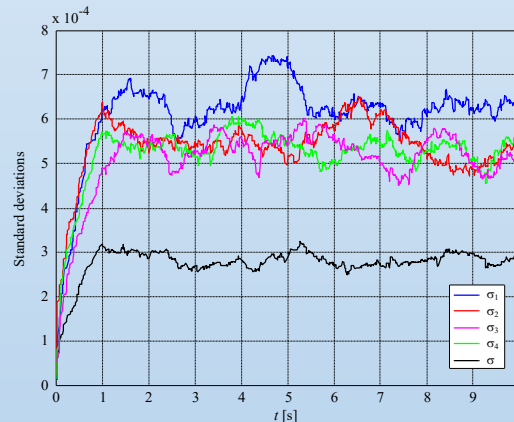
Validarea algoritmului prin simulare numerică



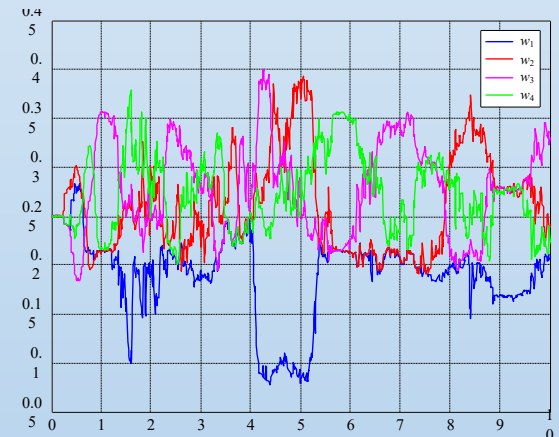
Modelul de simulare al algoritmului cu patru senzori în rețea



Măsurătorile independente și estimata \hat{x} pentru o accelerație de intrare ideală nulă



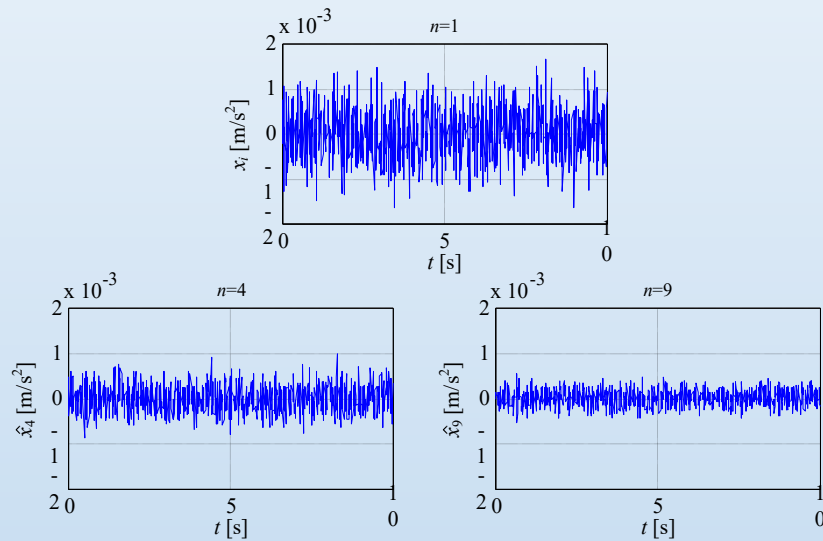
Deviațiile standard pentru $n=4$



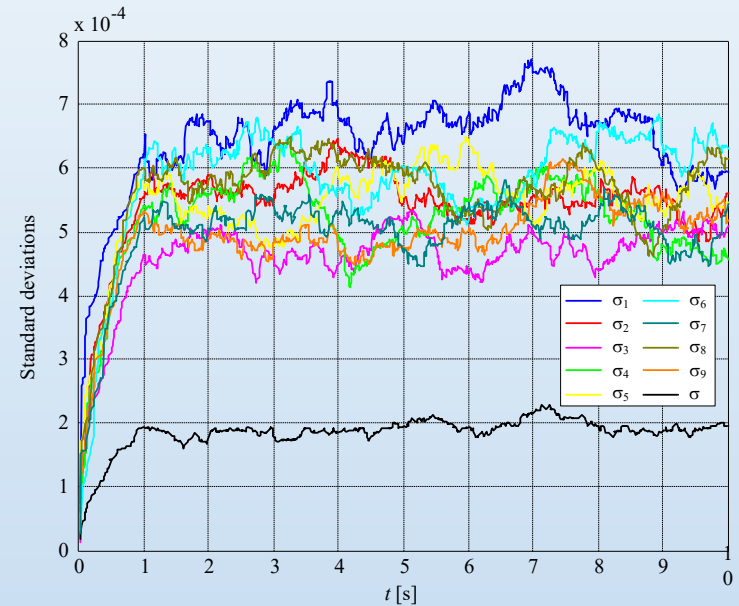
Ponderile optime pentru $n=4$

Capitolul 2

Validarea algoritmului prin simulare numerică



Rezultatele pentru $n=1$, $n=4$ și $n=9$



Abaterile standard pentru $n=9$

Rezultatele sugerează că algoritmul reduce abaterea standard a senzorilor integrați, în medie, de aproximativ ori.

Vă mulțumesc pentru atenția acordată!

