

Aplicații ale logicii fuzzy

2. Fuzzy control

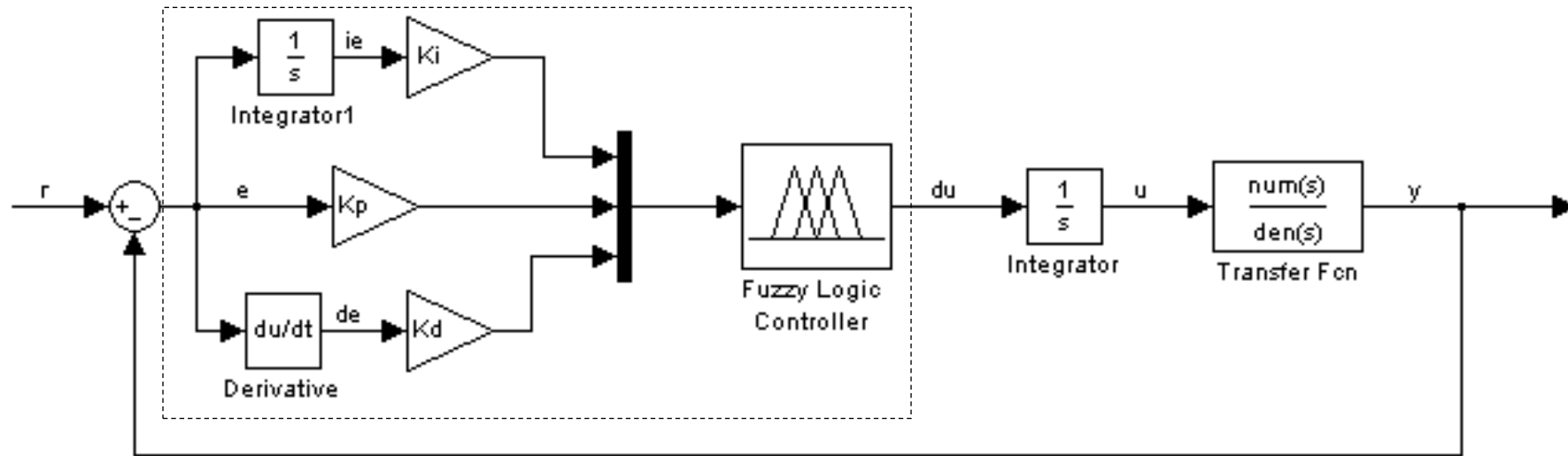


Figura 2.1. Schema bloc a unui sistem cu control fuzzy în timp continuu.

sistem de inferență de tip Mamdani/Larsen:

IF e este ... AND $\dot{e}$ este ... AND $\int e$ este ... THEN $\dot{u}$ este ...

sistem de inferență de tip Takagi-Sugeno-Kang:

IF e este ... AND $\dot{e}$ este ... AND $\int e$ este ... THEN $\dot{u} = f(e, \dot{e}, \int e)$

În proiectarea unui regulator fuzzy, utilizatorul este liber să aleagă:

- numărul de termeni lingvistici care caracterizează fiecare mărime de intrare: de regulă acești termeni descriu în limbaj natural modul de variație a mărimii pe care o caracterizează (se utilizează valori de genul negativ mare, negativ mic, zero, pozitiv mic, pozitiv mare, la care se adaugă calificatori);
- tipul și parametrii funcțiilor de apartenență corespunzătoare acestora;
- operatorii logici fuzzy (disjuncție, conjuncție, implicație);
- regulile bazei de reguli a sistemului de inferență;
- procedura de defuzzificare.

Exemplul 2.1. $G(s) = e^{-s} \frac{1.2}{10s+1}$ (element de ordinul I cu timp mort)

regulatorul fuzzy de tip PD are **două intrări**: eroarea e și derivata erorii, $\dot{e}$, scalate cu factorii $K_p = 0.25$ și, respectiv, $K_d = 1.50$, furnizând la **ieșire** derivata comenzii, $\dot{u}$.

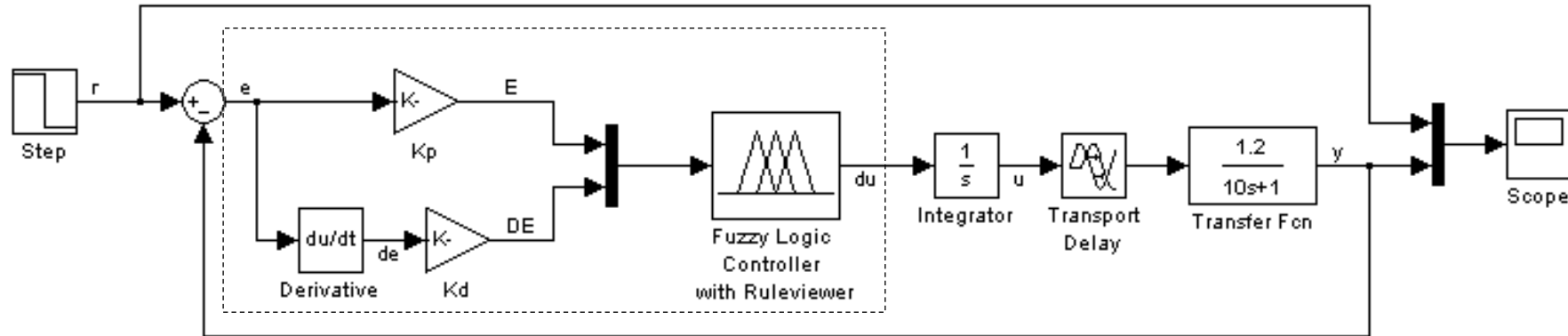


Figura 2.2. Modelul Simulink al sistemului studiat în exemplul 2.1.

Editarea unui *sistem de inferență fuzzy* (FIS) cu ajutorul interfeței grafice cu utilizatorul **fuzzy**:

- precizarea tipului de FIS implementat: Mamdani/Larsen sau Takagi-Sugeno-Kang;
- selectarea operatorilor utilizați în FIS (conjunție, disjuncție, implicație, agregare, defuzzificare). Pentru negație se utilizează operatorul fuzzy standard, $\mathcal{N}(a) = 1 - a$, $a \in [0,1]$.
- setarea numărului de variabile de intrare/ieșire din FIS, a numelor (variabile lingvistice) și domeniilor de variație ale acestora (vezi figura 2.3);
- modificarea numărului de termeni lingvistici care caracterizează fiecare variabilă în parte și precizarea funcțiilor de apartenență corespunzătoare;
- precizarea regulilor bazei de reguli;
- vizualizarea reprezentării grafice a dependenței ieșirii de intrări.

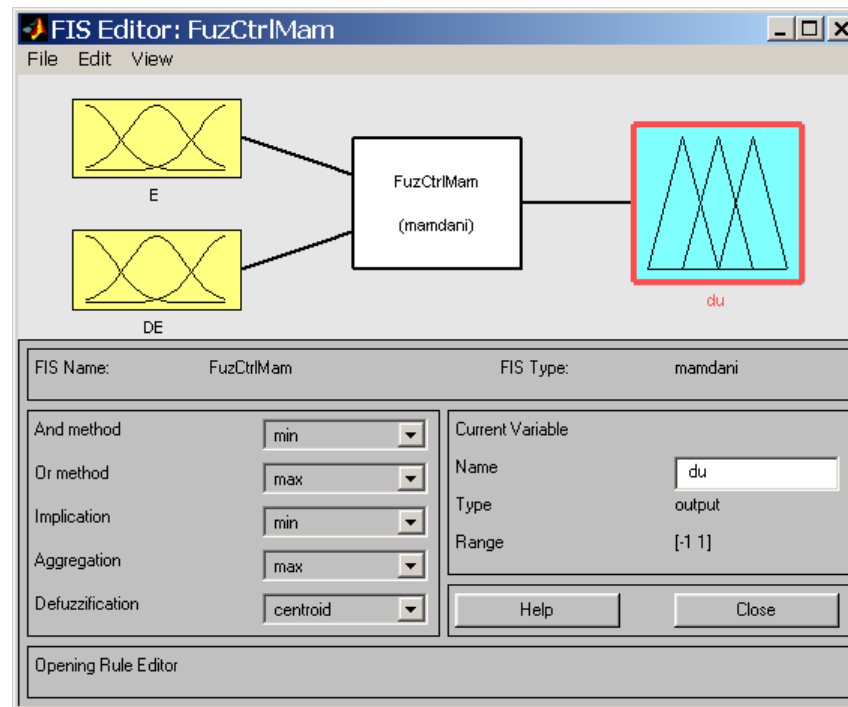


Figura 2.3. Sistemul de inferență de tip Mamdani utilizat în exemplul 2.1.

Pentru caracterizarea mărimilor de intrare (eroare scalată E , derivata erorii scalată DE) se utilizează câte doi termeni lingvistici: *negativ* (Neg) și *pozitiv* (Poz), considerați mulțimi fuzzy trapezoidale având funcțiile de apartenență (figura 2.4):

$$\mu_{\text{neg}}(x) = f_{\text{trap}}(x; -2.8, -2, -0.8, 0.8), \quad \mu_{\text{poz}}(x) = f_{\text{trap}}(x; -0.8, 0.8, 2, 2.8).$$

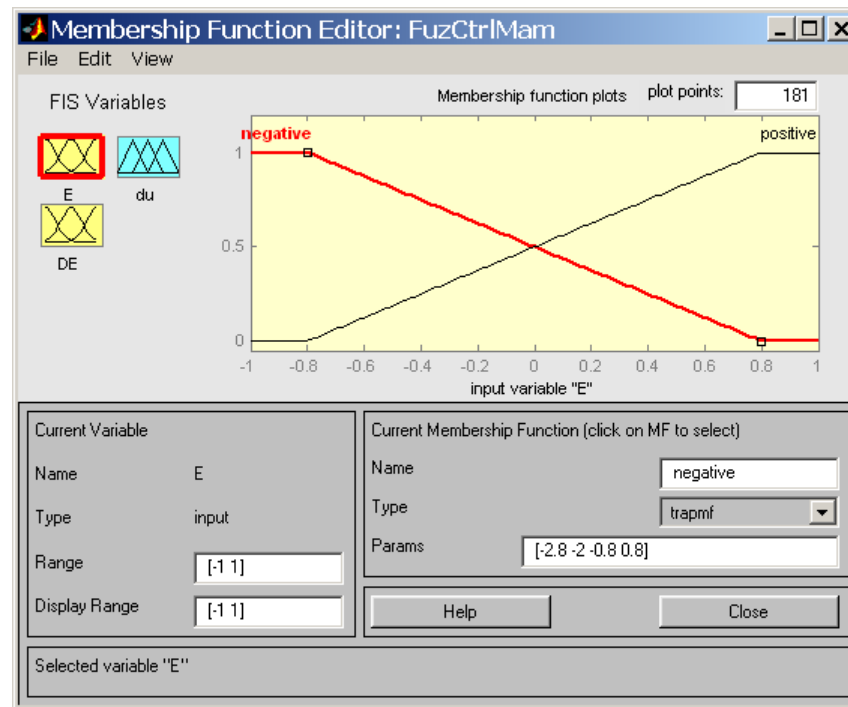


Figura 2.4. Termenii lingvistici corespunzători mărimilor de intrare din exemplul 2.1.

Pentru caracterizarea mărimii de ieșire (derivata comenzii du) se utilizează trei termenii lingvistici: *negativ* (Neg), *pozitiv* (Poz) și *zero* ($Zero$), considerați mulțimi fuzzy triunghiulare având funcțiile de apartenență (figura 2.5):

$$\mu_{neg}(x) = f_{tri}(x; -2, -1, 0), \mu_{poz}(x) = f_{tri}(x; 0, 1, 2), \mu_{zero}(x) = f_{tri}(x; -1, 0, 1).$$

Intervalul de interes pentru cele trei mărimi utilizate în această aplicație este $[-1, 1]$.

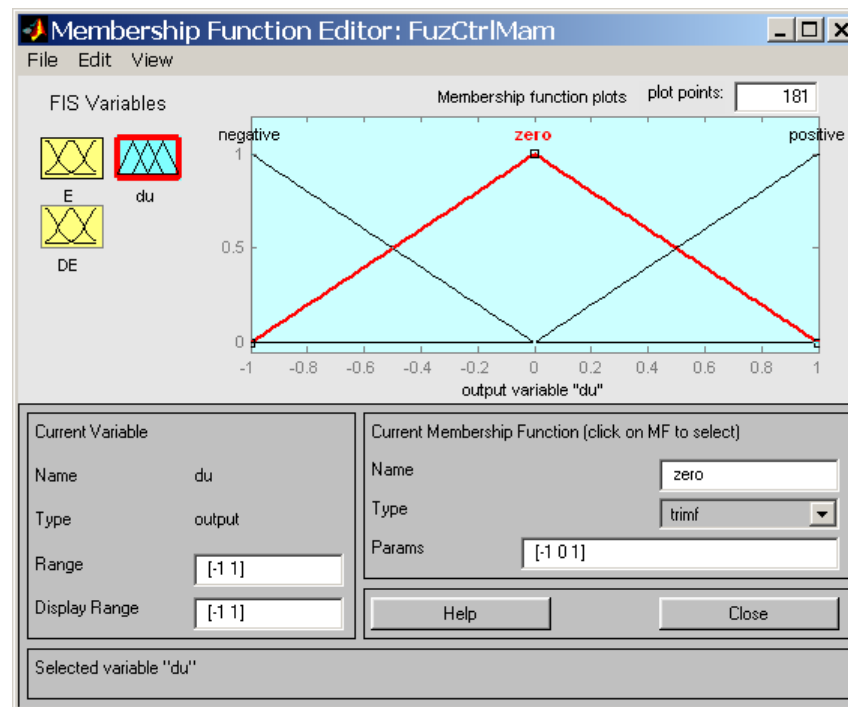


Figura 2.5. Termenii lingvistici corespunzători mărimii de ieșire din exemplul 2.1.

Pentru regulatorul de tip Mamdani se consideră cele patru reguli reprezentate în tabelul 2.1

$\mathcal{R}_1$: IF E este Poz AND DE este Poz THEN du este Poz

$\mathcal{R}_2$: IF E este poz AND DE este Neg THEN du este Zero

$\mathcal{R}_3$: IF E este Neg AND DE este Poz THEN du este Zero

$\mathcal{R}_4$: IF E este Neg AND DE este Neg THEN du este Neg

Tabelul 2.1. Tabelul de inferență pentru regulatorul fuzzy de tip Mamdani.

E \ DE	N	P
	N	P
N	N	Z
P	Z	P

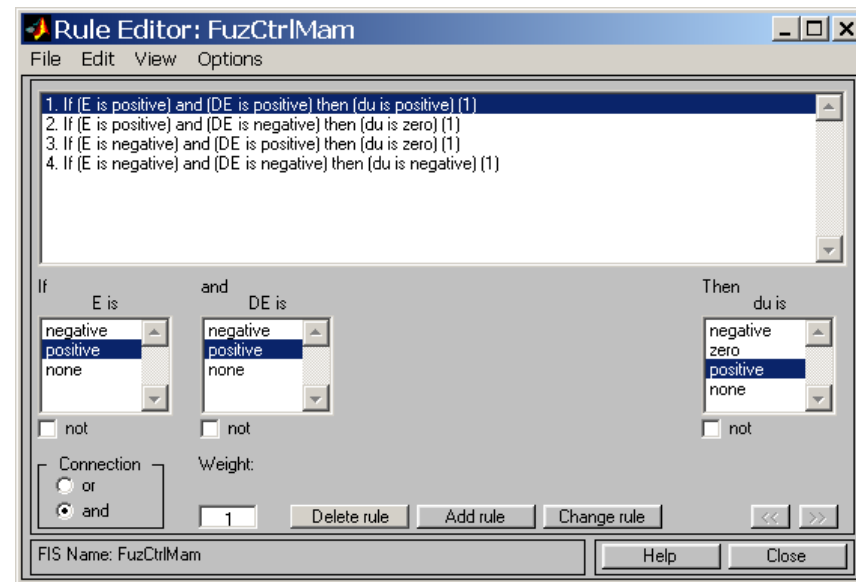


Figura 2.6. Baza de reguli a regulatorului fuzzy de tip Mamdani utilizat în exemplul 2.1.

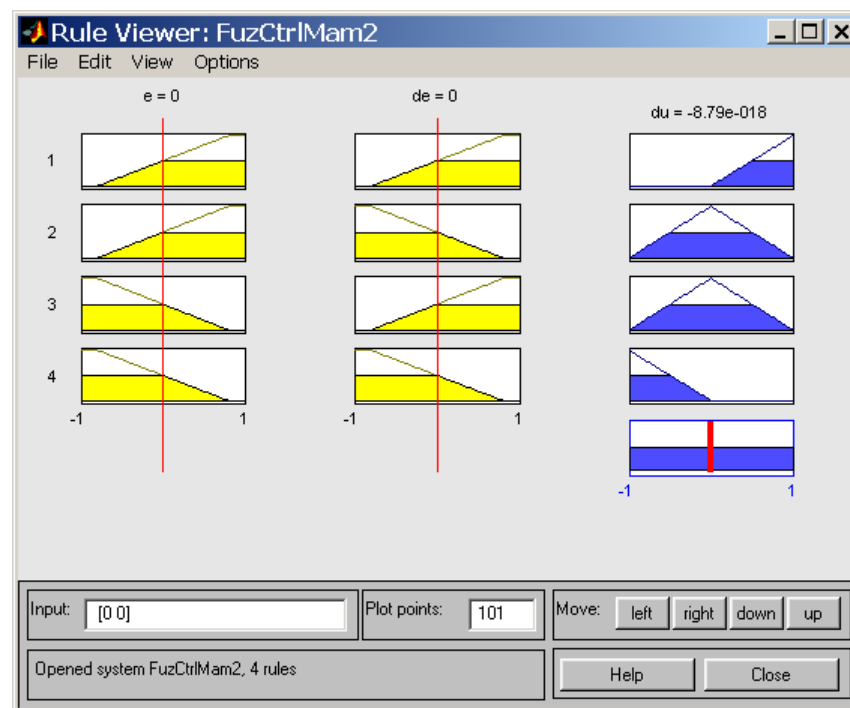


Figura 2.7. Vizualizarea grafică a regulilor FIS de tip Mamdani utilizat în exemplul 2.1.

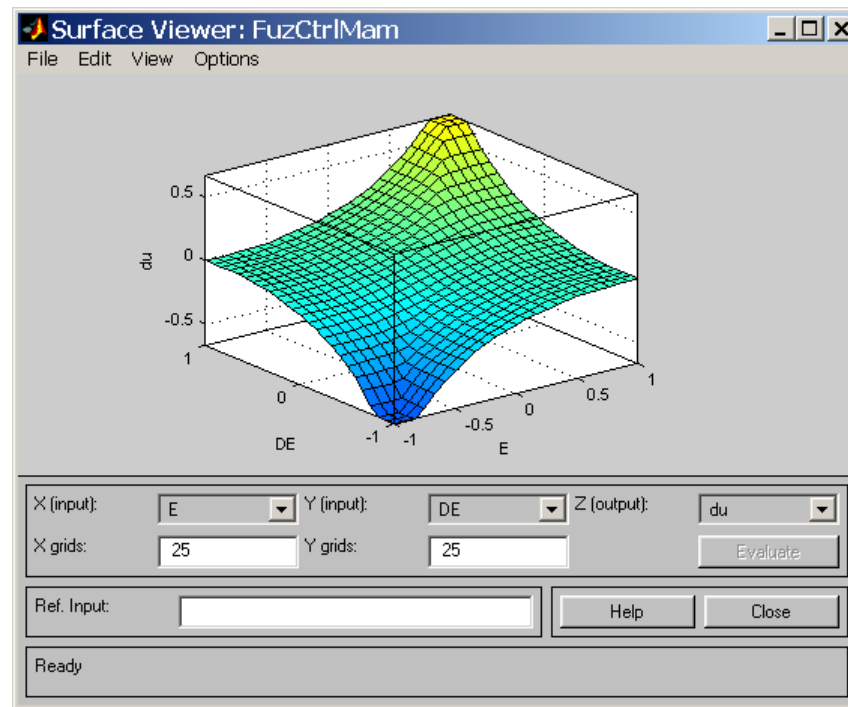


Figura 2.8. Reprezentarea grafică a dependenței ieșirii de cele două intrări pentru FIS de tip Mamdani utilizat în exemplul 2.1.

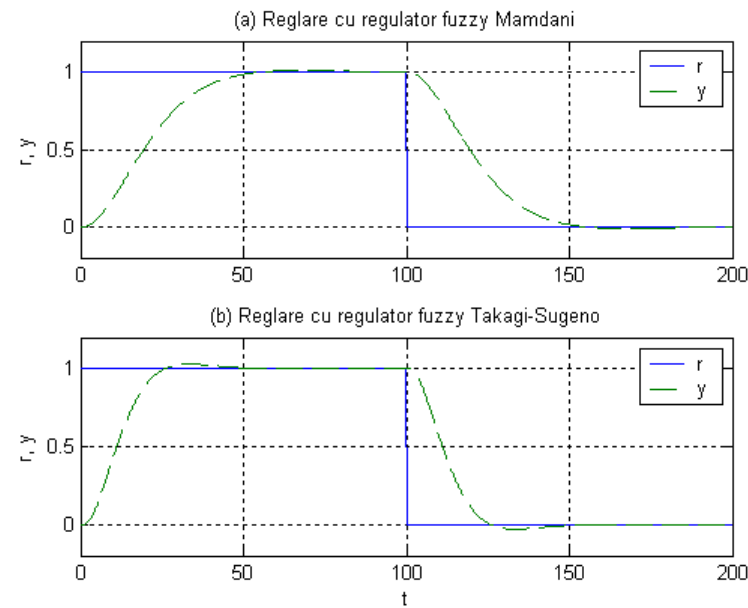


Figura 2.9. *Reprezentarea grafică a referinței și ieșirii procesului utilizat în exemplul 2.1 dacă se utilizează un regulator fuzzy (a) de tip Mamdani și (b) de tip TSK.*

Implementare în MATLAB a unui regulator fuzzy de tip TSK de ordin zero

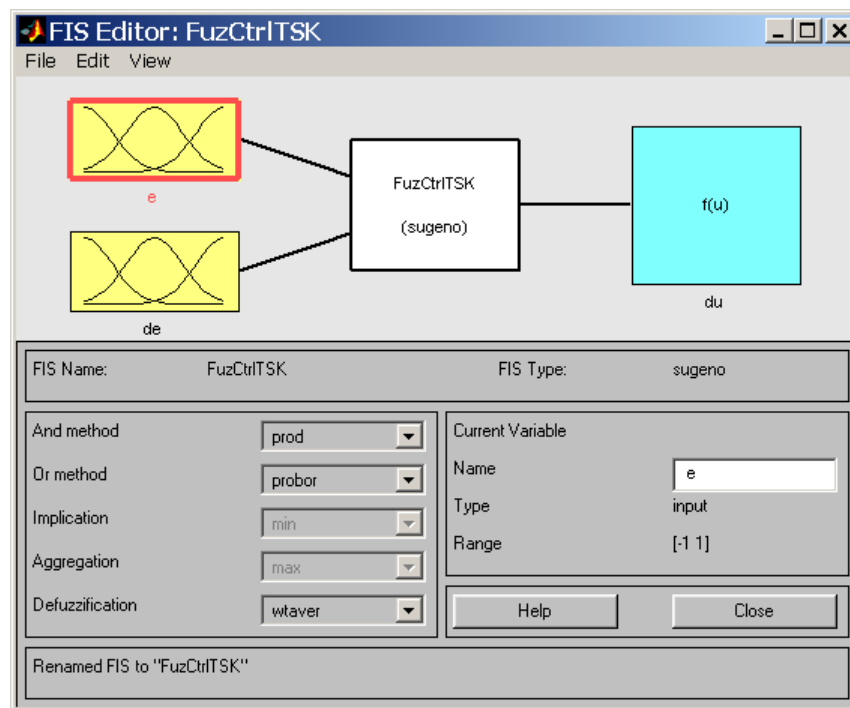


Figura 2.10. Sistemul de inferență de tip Takagi-Sugeno utilizat în exemplul 2.1.

Se utilizează **aceleași mărimi de intrare** în FIS (figura 2.10), caracterizate prin aceiași termeni lingvistici ca și în cazul utilizării FIS de tip Mamdani.

Pentru mărimea de ieșire din FIS se consideră funcțiile constante

$$f_1(E, DE) = 1, \quad f_2(E, DE) = -1, \quad f_3(E, DE) = 0.$$

Pentru regulatorul de tip TSK se consideră regulile:

$\mathcal{R}_1$: IF E este Poz AND DE este Poz THEN $du = f_1(E, DE)$

$\mathcal{R}_2$: IF E este Poz AND DE este Neg THEN $du = f_3(E, DE)$

$\mathcal{R}_3$: IF E este Neg AND DE este Poz THEN $du = f_3(E, DE)$

$\mathcal{R}_4$: IF E este Neg AND DE este Neg THEN $du = f_2(E, DE)$

Tabelul 2.2. Tabelul de inferență pentru regulatorul fuzzy de tip TSK.

E \ DE	N	P
N	$\dot{u} = -1$	$\dot{u} = 0$
P	$\dot{u} = 0$	$\dot{u} = 1$

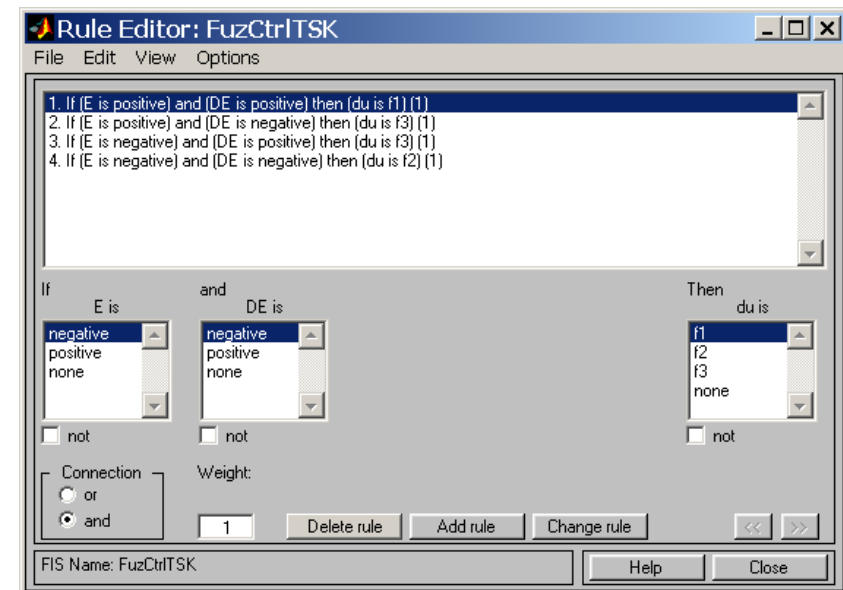


Figura 2.11. Baza de reguli a regulatorului fuzzy de tip TSK utilizat în exemplul 2.1.

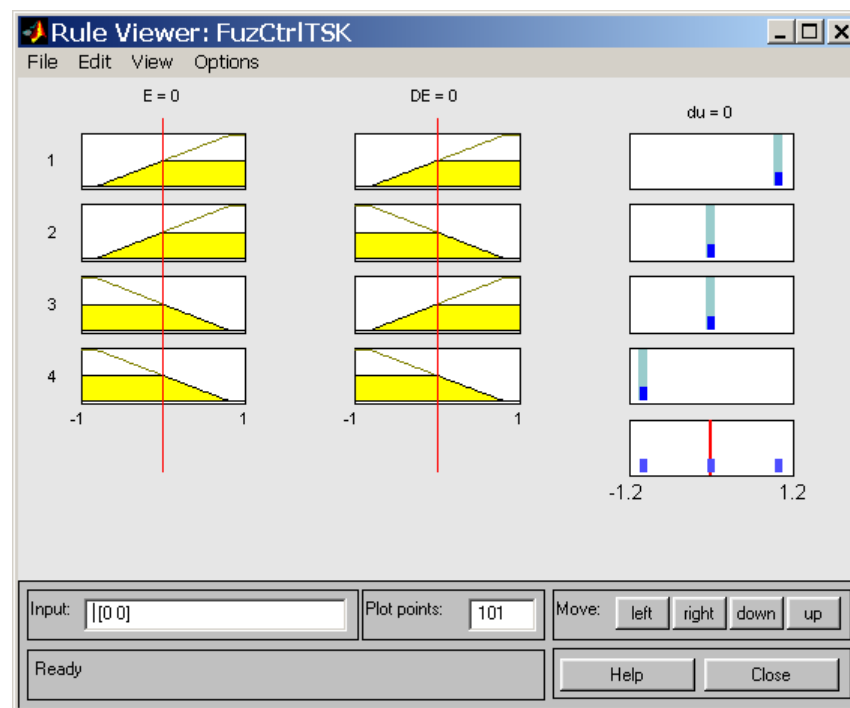


Figura 2.12. Vizualizarea grafică a regulilor FIS de tip TSK utilizat în exemplul 2.1.

Pentru acest FIS de tip TSK se utilizează operatorii logici fuzzy produs pentru conjuncție și suma algebrică (probabilistic OR) pentru disjuncție (așa cum se poate observa în figura 2.10). Metoda utilizată pentru defuzzificarea rezultatului este media ponderată a ieșirilor.

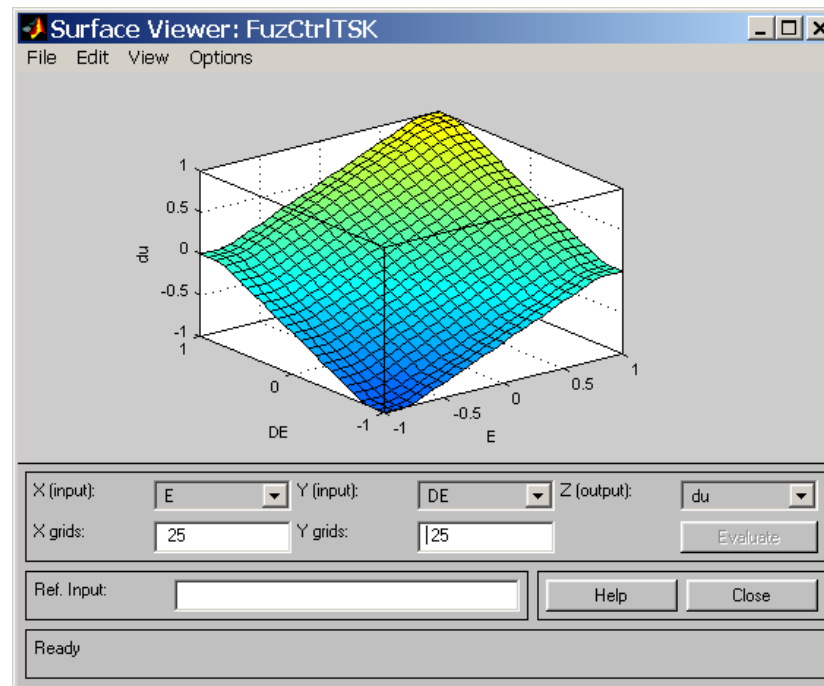


Figura 2.13. *Reprezentarea grafică a dependenței ieșirii de cele două intrări pentru FIS de tip TSK utilizat în exemplul 2.1.*