

THE FUZZY-PROBABILISTIC SEQUENT SYSTEM FOR CONTROLLING THE SPARK IGNITION IN FUEL ENGINE

Mariusz Topolski

*Politechnika Wroclawska, Wydział Elektroniki
Katedra Systemów i Sieci Komputerowych
ul. Janiszewskiego 11/17, Wrocław
e-mail: mariusz.topolski@pwr.wroc.pl*

Abstract

The recent work presents the general aspect of fuzzy-probabilistic sequent system for controlling the spark ignition in fuel engine. The system is used for analysis of engine parameters that have the highest affect on spark ignition. The sequent model was taken, assumed that on the specified object state the previous states have an effect.

ROZMYTO-PROBABILISTYCZNY SYSTEM SEKWENCYJNY, DO STEROWANIA ZAPŁONEM ISKROWYM W SILNIKU SPALINOWYM

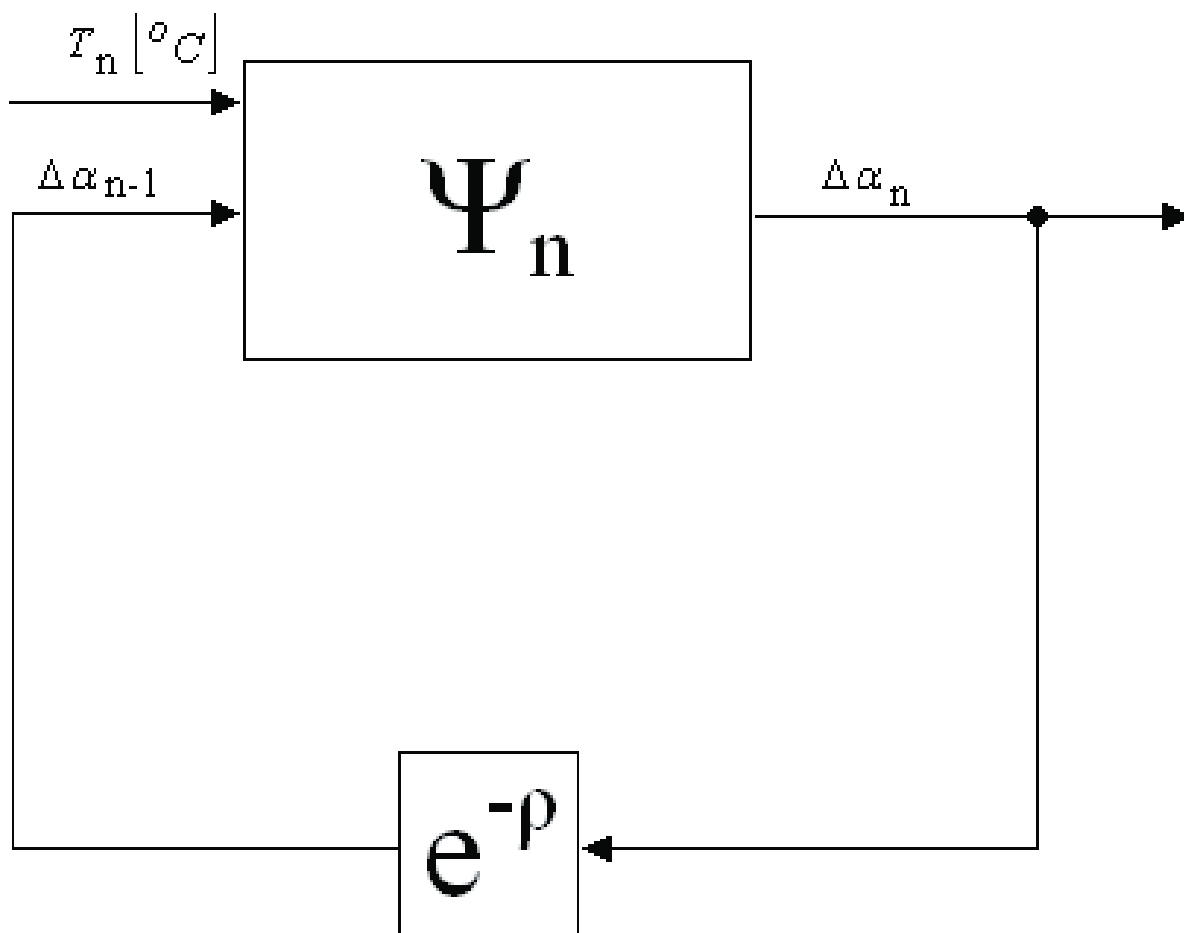
Streszczenie

W pracy przedstawiono ogólną postać rozmyto-probabilistycznego systemu sekwencyjnego do sterowania zapłonem iskrowym w silniku spalinowym. System wykorzystuje do analizy parametry silnika mające największy wpływ na zapłon iskrowy. Przyjęto model sekwencyjny, zakładając, że na konkretny stan obiektu mają wpływ poprzednie stany

1. Wstęp

Sterowanie zapłonem iskrowym stanowi dość ważny problem w sterowaniu silnikiem spalinowym. W korekcji temperaturowej podstawowym sygnałem podawanym na wejście sterownika jest temperatura płynu chłodzącego silnika. W niektórych rozwiązaniach możemy wzbogacić informację wejściową o wartość obciążenia silnika i prędkość obrotową. Korekcja kąta wyprzedzania zapłonu będąca funkcją temperatury cieczy chłodzącej jest związana z trzema jej zakresami. Pierwszy z nich dotyczy zwiększania kąta wyprzedzania zapłonu. Drugi zakres jest związany, ze zmniejszaniem kąta wyprzedzania zapłonu, którego zadaniem jest stabilizacja pracy nierozgrzanego silnika. Trzeci zakres, to bardzo wysoka temperatura płynu chłodzącego. Na skutek takiej sytuacji należy zmniejszyć kąt wyprzedzania zapłonu aby nie dopuścić do spalania stukowego.

Systemy sterowania zapłonem operujące na klasycznej logice mogą okazać się mniej dokładne niż te oparte na logice rozmytej. Zdanie w klasycznej logice może być prawdziwe lub fałszywe, przedmiot może należeć do zbioru albo nie. Tertium non datur, trzeciego wyjścia nie ma – powiada prawo tej klasycznej logiki, znane jako prawo wyłącznego środka. Tymczasem w przypadku zbioru rozmytego owo trzecie wyjście jest: przedmiot może należeć do zbioru w pewnym tylko stopniu (a tym samym jednocześnie w pewnym stopniu doń nie należeć). Zastosowanie logiki rozmytej do sterowania zapłonem niesie za sobą zalety. Czujniki pomiarowe temperatury, mogą generować błędne wartości w pewnej tolerancji. Związek między kolejnymi korekcjami kąta wyprzedzenia zapłonu ma charakter niepewny. W związku z powyższymi przyjęto sekwencyjny model probabilistyczno-rozmyty, w celu opisu związków między wartościami. Przykładowy model sterowania w postaci blokowej znajduje się na rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy sekwencyjnego sterowania zapłonem iskrowym
 Fig. 1. Block diagram of sequent control of spark ignitron

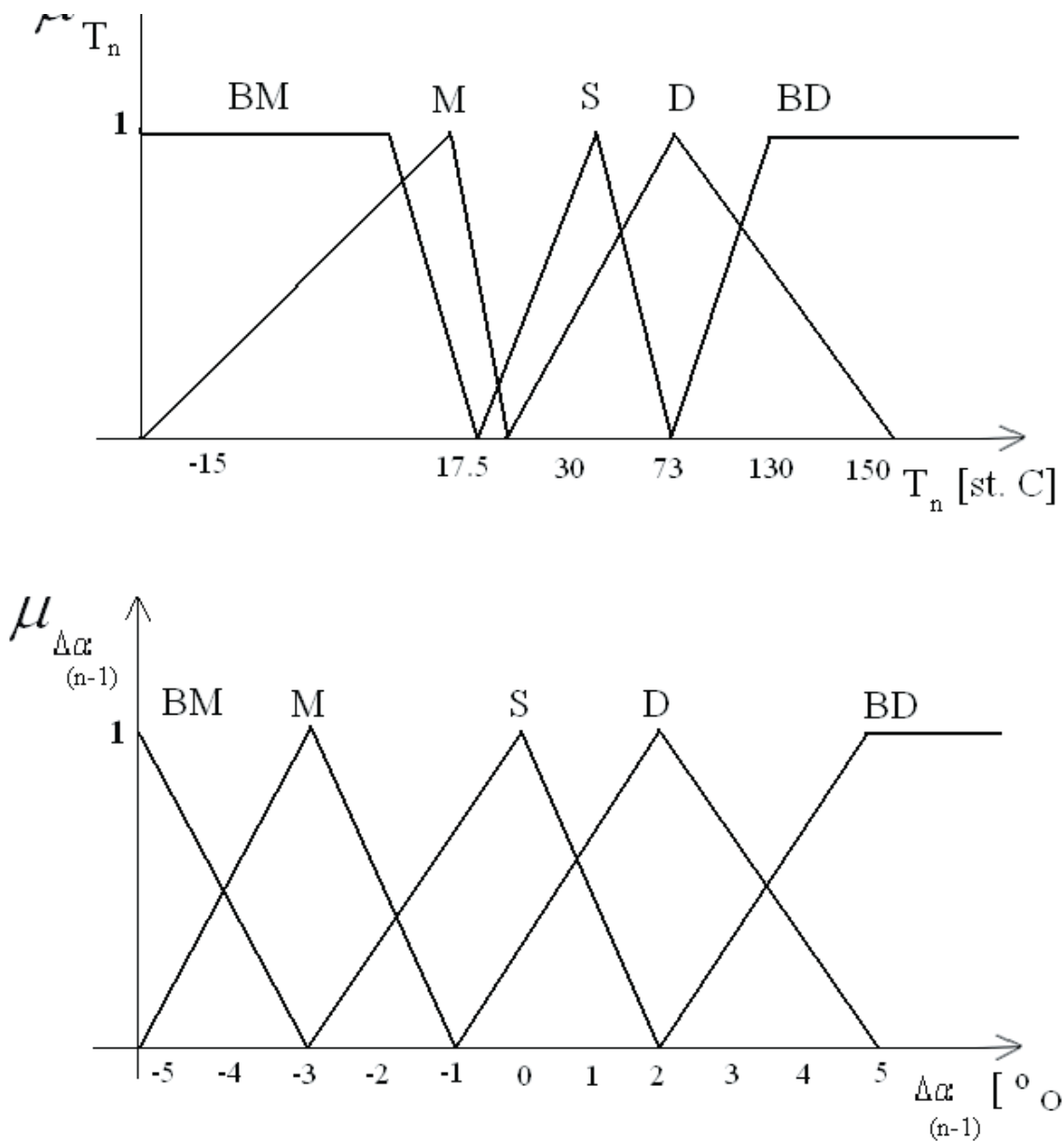
gdzie:

- Ψ_n - algorytm sterowania na n-tym etapie,
- $\Delta\alpha_n$ - kąt wyprzedzania zapłonu na n-tym etapie,
- $\Delta\alpha_{n-1}$ - kąt wyprzedzania zapłonu na (n-1) -tym etapie,
- $T_n [^\circ C]$ - temperatura w chłodnicy na n-tym etapie,
- e^{-p} - opóźnienie o jeden takt pomiaru temperatury.

2. Matematyczny opis zadania rozpoznawania

W analizowanym przez nas zadaniu rozpoznawania przyjmijmy, że znane są prawdopodobieństwa przejścia między danymi stanami kątów wyprzedzania zapłonów zależnych od temperatury.

W pierwszej kolejności system korzysta z wyznaczonych funkcji przynależności rys. 2



Rys. 2. Przykładowe funkcje przynależności
Fig. 2. The instances of pertained functions

Dla tak postawionego problemu mamy 25 reguł rozmytych w postaci:

$$IF (T_n \text{ jest } A \text{ AND } \Delta\alpha_{n-1} \text{ jest } B) \text{ THEN } \Delta\alpha_n \text{ jest } C \text{ z } CF = p_{\Delta\alpha_n}, \quad (2.1)$$

gdzie CF – jest współczynnikiem pewności zdarzenia $\Delta\alpha_n$.

$\Delta\alpha_n$ otrzymamy wyostrzając wartość rozmytą metodą *center average defuzzification*:

$$\Delta\alpha_n = \frac{\sum_{k=1}^N \mu_{C^k}(\Delta\alpha_n^k) \Delta\alpha_n^k}{\sum_{k=1}^N \mu_{C^k}(\Delta\alpha_n^k)}. \quad (2.2)$$

Współczynnik CF będący wartością a posteriori stanu $\Delta\alpha_n$ pod warunkiem dwu informacji rozmytych A i B. Wyznaczamy według rozmytego wzoru Bayesa.

$$CF = \frac{\sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^r \mu_{A_j}^1(s_n^j(\Delta\alpha_n^j)) \mu_{B_j}^2(s_n^k(\Delta\alpha_n^j)) p(s_n^j(\Delta\alpha_n^j) | \Delta\alpha_n^j) p(s_n^k(\Delta\alpha_n^k) | \Delta\alpha_n^k) p(\Delta\alpha_n^j)}{\left(\sum_{j=1}^r \mu_{A_j}^1(s_n^j(\Delta\alpha_n^j)) p(s_n^j(\Delta\alpha_n^j)) \right) \left(\sum_{k=1}^r \mu_{B_k}^2(s_n^k(\Delta\alpha_n^k)) p(s_n^k(\Delta\alpha_n^k)) \right)}, \quad (2.3)$$

gdzie:

$s_n^j(\Delta\alpha_n^j)$ - jest wartością probabilistyczną otrzymaną w wyniku obserwacji $\Delta\alpha_n^j$,
 $p(\Delta\alpha_n^j)$ - prawdopodobieństwo a priori zdarzenia $\Delta\alpha_n^j$,

natomiast:

$$p(\Delta\alpha_n^k | s_n^k(\Delta\alpha_n^k)) = \frac{p(s_n^k(\Delta\alpha_n^k) | \Delta\alpha_n^k) p(\Delta\alpha_n^k)}{\sum_{i=1}^n p(s_n^k(\Delta\alpha_n^k) | \Delta\alpha_n^k) p(\Delta\alpha_n^k)}, \quad (2.4)$$

jest prawdopodobieństwem a posteriori.

W celu zwiększenia precyzji układu i dokładniejszego opisu informacji należałoby wprowadzić do analizy dodatkową zmienną np. obciążenie, przy którym wyprzedzenie zapłonu będzie inne na poziomie morza, niż na terenie wysokogórkim. Należy więc określić dodatkową zmienną wejściową, rozmyć ją i dodać do opisu we wzorze (2.3). Jeżeli baza reguł rozmytych dla podziale nowej zmiennej na pięć obszarów będzie wynosiła już 125 reguł rozmytych, a nie 25, jak w poprzednim punkcie.

3. Przykład praktyczny

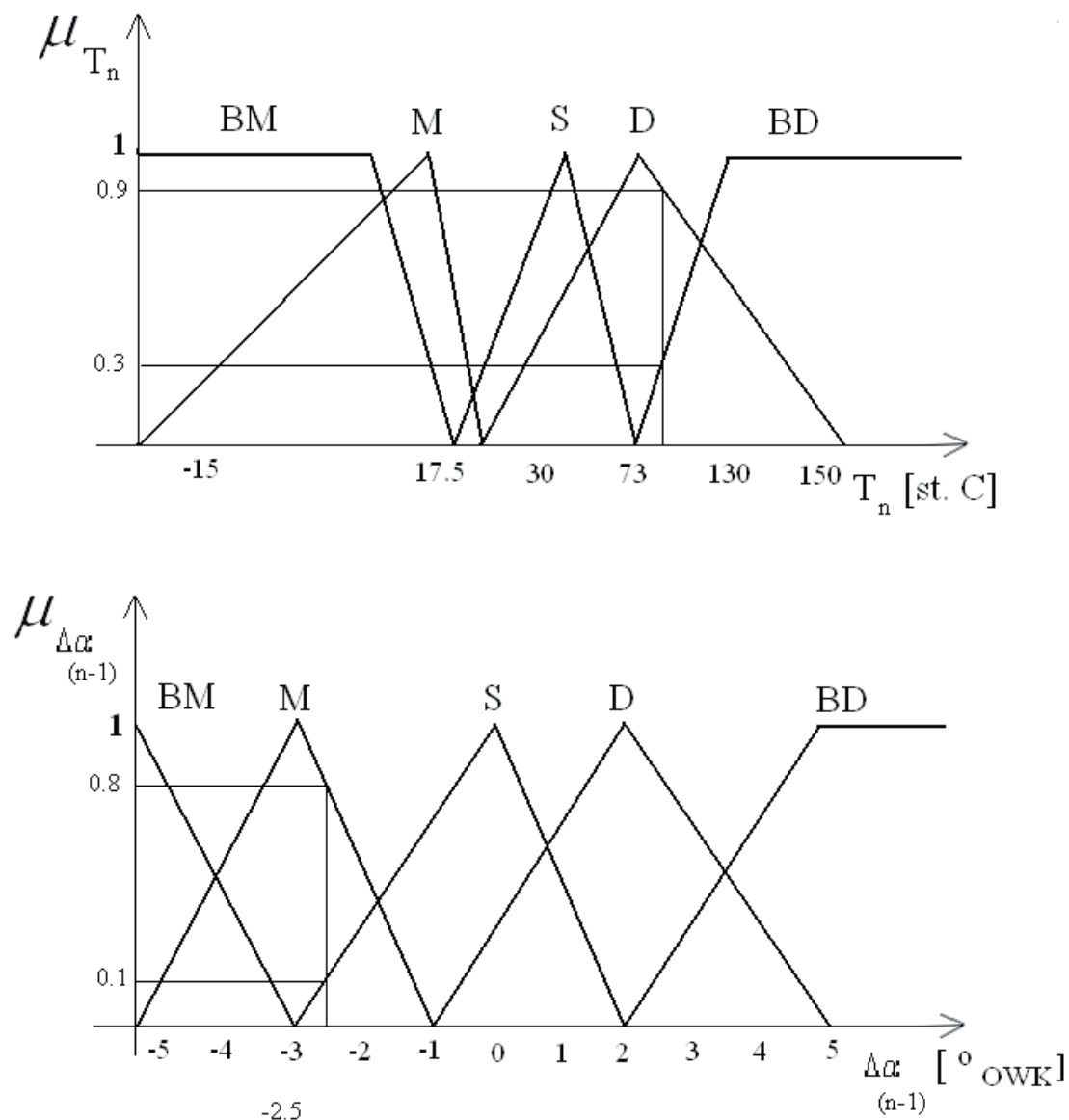
Przyjmijmy, że temperatura układu chłodzenia wzrosła z 50 do 80 stopni. W poprzednim stanie wartość kąta wyprzedzenia $\Delta\alpha_{n-1} = -2.5$ [$^{\circ}$ OWK]. Na rysunku rys. 3, przedstawiono sytuację panującą w chwili n.

Zatem największa wartość temperatury dla 80 stopni wynosi 0.9 dla obszaru D, a min 0.3 dla obszaru BD oraz maksymalna wartość kąta wyprzedzenia zapłonu na etapie (n-1) wynosi 0.8 dla obszaru M, a min 0.1 dla S. W związku z powyższym wyznaczamy zgodnie z 2.2 wartość kąta wyprzedzenia zapłonu dla reguł: Zgodnie ze wzorem 2.3 wyznaczmy teraz współczynnik pewności CF. Z pośród czterech możliwych kombinacji reguł rozmytych największy współczynnik CF otrzymujemy dla reguły postaci:

$$IF (T_n = 80 \text{ jest } D \text{ AND } \Delta\alpha_{n-1} = -2.5 \text{ jest } M) \text{ THEN } \Delta\alpha_n \text{ jest } -4.5 \text{ z } CF=0,85.$$

Zatem kąt wyprzedzenia zapłonu będzie teraz wynosił:

$$\Delta\alpha_n = -4.5 \text{ [}^\circ\text{OWK]}$$



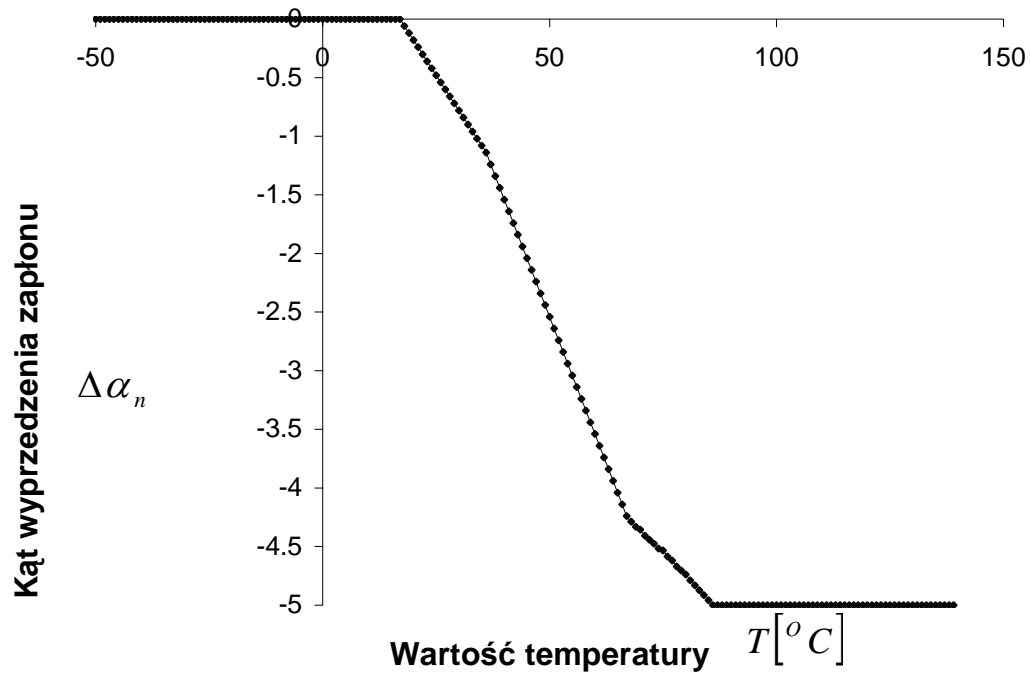
Rys. 3. Przykładowe funkcje przynależności
Fig. 3. The instances of pertained functions

Charakterystyka wartości korekcji zapłonu za pomocą algorytmu rozmyto-probabilistycznego przedstawia rys. 4.

Możemy na podstawie charakterystyki napisać kryterium zbieżności w postaci:

$$\lim_{T \rightarrow -\infty} \Delta\alpha(T) = 0 \quad \text{oraz} \quad \lim_{T \rightarrow +\infty} \Delta\alpha(T) = -5. \quad (3.1)$$

Na podstawie powyższej charakterystyki możemy wywnioskować, że system, gdy temperatura płynu chłodzącego będzie zbyt wysoka zmniejszy kąt wyprzedzenia, co spowoduje, że nie zaistnieje spalanie stukowe. Wartość opóźnienia jak widzimy spadnie przy temp. około 80°C nawet do 5 stopni. Jeżeli temperatura płynu chłodzącego będzie niska, to kąt wyprzedzenia zapłonu będzie zmniejszony, co poprawia np. pracę nierozgrzanego silnika.



Rys. 4. Charakterystyka korekcji temperaturowej
 Fig. 4. Profile of temperature correction

Literatura:

- [1] Piegat A., Modelowanie i sterowanie rozmyte, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 1999.
- [2] Yager R. R., Fuzzy sets, probabilities and decision. J. Cybern. 1980 vol. 10 ss. 137-159, 1980.