

Roman ZAJDEL

POLITECHNIKA RZESZOWSKA, KATEDRA INFORMATYKI I AUTOMATYKI

Wiarygodność reguł rozmytych otrzymanych w procesie uczenia

Dr inż. Roman ZAJDEL

Studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Rzeszowskiej ukończył w 1990 roku. W 1999 roku uzyskał tytuł doktora na Politechnice Wrocławskiej. Pracuje na Politechnice Rzeszowskiej na stanowisku adiunkta. Główny kierunek badań naukowych to sieci neuronowe, systemy rozmyte oraz rozmyte sieci neuronowe ze szczególnym uwzględnieniem uczenia ze wzmocnieniem.



Streszczenie

Opisano miniaturowy robot mobilny Khepera. Zaprezentowano układ nawigacyjny realizujący zadanie omijania przeszkód w oparciu o regulator rozmyty Takagi-Sugeno. Zdefiniowano współczynnik wiarygodności reguł otrzymanych w wyniku uczenia. Zaprezentowano wyniki sterowania robotem mobilnym Khepera.

Abstract

The Khepera miniature robot is described. The fuzzy control system to obstacle avoidance is proposed. The Takagi-Sugeno system with rules obtained in learning process was used. A credibility factor of learned rules is proposed. The experiment result is presented.

1. Wstęp

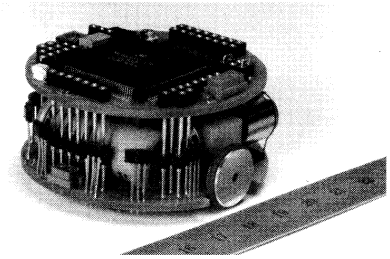
Stosowanie systemów rozmytych o liczbie reguł sterowania większej niż kilkanaście (kilkadziesiąt) napotyka na wiele trudności. Najczęściej reguły podaje ekspert, tzn. człowiek posiadający pewną wiedzę o procesie sterowania. Formułowanie bazy złożonej z kilkudziesięciu reguł jest jednak procesem uciążliwym. W ostatnich latach atrakcyjnym stało się stosowanie w sterowaniu rozmytych sieci neuronowych, łączących zalety sieci neuronowych (uczenie) z zaletami systemu rozmytego (reprezentacja wiedzy w postaci czytelnych dla człowieka reguł sterowania). Dobór parametrów takiego rozmyto-neuronowego regulatora odbywa się w procesie uczenia. W pracy [5] przedstawiono zastosowanie algorytmu wstecznej propagacji błędów do uczenia parametrów systemu rozmytego Takagi-Sugeno. Natomiast w [1, 4] zaprezentowano zastosowanie algorytmu uczenia ze wzmocnieniem do regulatora rozmytego Mamdaniego.

W przypadku reguł otrzymanych w wyniku uczenia nasuwa się pytanie: „Na ile poszczególne reguły są wiarygodne?” lub też „Czy wszystkie reguły były uczone w tym samym stopniu? Czy zestaw danych uczących (zaistniałych sytuacji w procesie uczenia) zapewnił wszechstronne i równomierne nauczenie wszystkich reguł?” Odpowiedź na to pytanie jest o tyle istotna, że pozwoli na wskazanie reguł, które zostały nauczone wystarczająco lub też nie zostały nauczone.

Obiektem sterowania był miniaturowy robot mobilny opisany w części drugiej artykułu. W części trzeciej przedstawiono system rozmyty Takagi-Sugeno, zaś w części czwartej opisano układ sterowania realizujący zadanie omijania przeszkód. W części piątej zdefiniowano współczynnik wiarygodności reguł uzyskanych w wyniku uczenia. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów zamieszczono w części szóstej.

2. Robot mobilny Khepera

Miniaturowy robot mobilny Khepera został zaprojektowany i wykonany w Laboratorium Mikroinformatyki Politechniki w Lozannie (Szwajcaria) [3]. Dzięki niewielkim wymiarom (średnica 52 mm, wysokość 30 mm) i małej wadze (około 70 g) jest dobrym obiektem do testowania algorytmów sterowania (rys. 1).



Rys. 1. Robot Khepera

Elementarna konfiguracja robota posiada dwa niezależne koła napędzane przez silniki DC, które pozwalają na uzyskanie maksymalnej prędkości 1 m/s. Cztery akumulatory Ni-Cd pozwalają na 20-minutową jazdę autonomiczną. W górnej części robota umieszczono mikrokontroler Motorola 68331 taktowany zegarem 16 MHz. Łącze szeregowo o maksymalnej prędkości transmisji wynoszącej 38400 bodów umożliwia sterowanie robotem przy pomocy komputera nadrzędnego. Na obwodzie robota umieszczono 8 czujników IR (*infra red*), pozwalających na wykrywanie przeszkód. Wartość sygnału z czujnika związana jest z rozdzielczością przetworników A/D, tzn. jest liczbą całkowitą z przedziału [0, 1023]. Wartość 0 oznacza brak przeszkody, zaś 1023 - bardzo małą odległość czujnika od przeszkody.

3. Regulator rozmyty

Do sterowania robotem zastosowano regulator rozmyty Takagi-Sugeno, którego wyjście w przypadku niesprzecznego i zupełnego systemu reguł sterowania obliczane jest według następującej zależności [2, 5, 6]:

$$v_k = \frac{\sum_{n=1}^N \beta_n c_{kn}}{\sum_{n=1}^N \beta_n} \quad (1)$$

w której c_{kn} jest wartością sterowania związaną z n -tą regułą i k -tym wyjściem regulatora ($k=l$ dla koła lewego i $k=r$ dla koła prawego), zaś β_n jest poziomem aktywacji n -tej reguły danym wzorem:

$$\beta_n = \mu_{A_{n1}}(x_1) \cdot \dots \cdot \mu_{A_{nl}}(x_l) \quad (2)$$

gdzie x_l ($l=1, \dots, L$) jest zmienną wejściową systemu rozmytego, a $\mu_{A_{nl}}(x_l)$ - stopniem przynależności zmiennej wejściowej x_l do zbioru rozmytego A_{nl} .

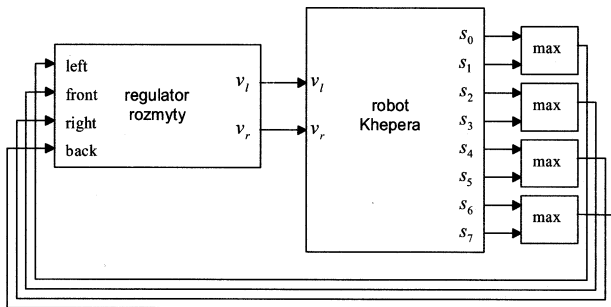
4. Układ sterowania

Jak już wspomniano wcześniej, robot Khepera posiada 8 czujników IR pozwalających na lokalizację przeszkód znajdujących się w pobliżu robota, zatem regulator rozmyty realizujący zadanie omijania przeszkód na podstawie sygnałów z tych czujników powinien mieć 8 wejść oraz 2 wyjścia. Przyjęcie minimalnej liczby zbiorów rozmytych, tj. dwóch, dla każdego z wejść sprawia, że otrzymujemy $2^8=256$ reguł sterowania. W celu ułatwienia analizy dokonano redukcji liczby zmiennych wejściowych przez połączenie sygnałów z dwóch sąsiednich czujników, co pozwoliło na otrzymanie tylko szesnastu reguł. Ponieważ przyjęto założenie, że robot ma reagować na pojawiające się w jego otoczeniu przeszkody, więc do agregacji sygnału z sąsiednich czujników użyto operatora max. Pozwala to na reakcję robota w przypadku, gdy choćby jeden z dwóch sąsiednich czujników zbliży się do przeszkody:

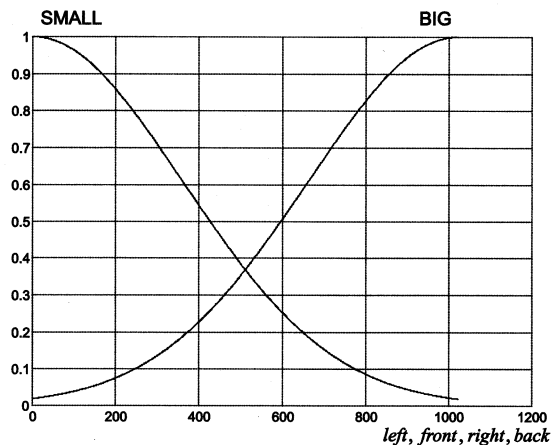
$$\begin{aligned} left &= \max(s_0, s_1), & front &= \max(s_2, s_3), & right &= \max(s_4, s_5), \\ back &= \max(s_6, s_7), \end{aligned}$$

gdzie s_i ($i=0, \dots, 7$) jest sygnałem z i -tego czujnika zbliżeniowego.

Regulator posiada więc cztery wejścia (*left*, *front*, *right* i *back*) oraz dwa wyjścia (prędkość lewego i prawego koła) (rys. 2). Zbiory rozmyte skojarzone ze zmiennymi wejściowymi przedstawiono na rys. 3. Przyjęto następujące etykiety zbiorów: SMALL (*mały*) i BIG (*duży*).



Rys. 2. Schemat układu sterowania wykonującego zadanie omijania przeszkód



Rys. 3. Zbiory rozmyte dla zmiennych *left*, *front*, *right* i *back* w zadaniu omijania przeszkód

5. Współczynnik wiarygodności reguły

W celu oceny stopnia wiarygodności reguły otrzymanej w wyniku uczenia zaproponowano współczynnik, będący miarą intensywności uczenia reguły [7]. Współczynnik wiarygodności n -tej reguły, oznaczany przez I_n określony jest następująco:

$$I_n = \frac{\sum_{i=1}^{N_e} \beta_n(i)}{\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{N_e} \beta_n(i)} \cdot N \quad (3)$$

gdzie $\beta_n(i)$ jest poziomem aktywacji n -tej ($1 \leq n \leq N$) reguły regulatora Takagi-Sugeno (zależność (2)) w i -tym ($1 \leq i \leq N_e$) kroku uczenia. Inaczej mówiąc współczynnik I_n wyraża ogólny poziom aktywacji n -tej reguły na tle aktywności wszystkich reguł w trakcie uczenia. Współczynnik I_n może przyjmować wartości z przedziału $0 \div N$, przy czym wartości bliskie 0 oznaczają niewielkie uczenie, zaś wartości > 1 uczenie kosztem innych reguł tzn., że nie wszystkie sytuacje opisywane przez przesłanki reguł były równomiernie reprezentowane na etapie uczenia. Najkorzystniejszym z punktu widzenia uczenia całej bazy reguł byłoby, gdyby dla wszystkich reguł wynosił on 1, wówczas wszystkie reguły byłyby nauczone równomiernie.

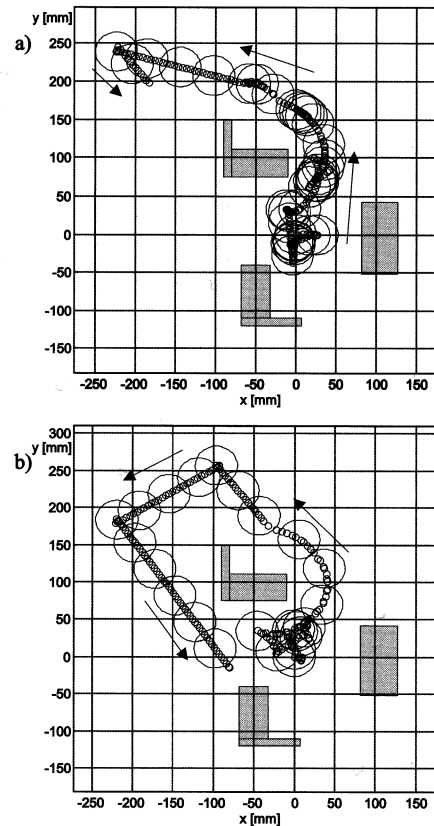
6. Wyniki eksperymentów

Uczenie następników reguł odbywało się w trakcie poruszania się robota w otoczeniu nieruchomych, różnokolorowych przeszkód. Uczenie przerywano po pokonaniu przez robota odległości 1 m. Trajektorie, po których robot poruszał się w trakcie uczenia ze wzmocnieniem przedstawiono na rys. 4a). Czas uczenia wynosił 1.5 min.

Zbiór szesnastu reguł, otrzymanych w wyniku uczenia przedstawiono w tabeli 1. Przykładowo, czwarta reguła:

Jeżeli (*left* = SMALL i *front* = SMALL i *right* = SMALL i *back* = BIG),
to ($v_l = 6.24$ i $v_r = 4.42$)

mówi, że jeżeli przeszkoda znajduje się z tyłu robota, to robot powinien od niej odjeżdżać (v_l i v_r dodatnie). Nauczone tablice reguł były następnie zweryfikowane eksperymentalnie (rys. 4b). Widać, że robot realizuje cel sterowania.



Rys. 4. Zadanie omijania przeszkód: a) uczenie, b) testy reguł otrzymanych w wyniku uczenia

Tabela 1. Tablica reguł regulatora T-S w zadaniu omijania przeszkód

<i>left</i>	<i>front</i>	<i>right</i>	<i>back</i>	v_l	v_r	I_n
SMALL	SMALL	SMALL	SMALL	10.25	9.06	14.87
SMALL	SMALL	SMALL	BIG	6.24	4.42	0.27
SMALL	SMALL	BIG	SMALL	-4.00	-5.34	0.27
SMALL	SMALL	BIG	BIG	0.24	0.67	0.01
SMALL	BIG	SMALL	SMALL	-5.52	2.40	0.27
SMALL	BIG	SMALL	BIG	0.50	0.80	0.01
SMALL	BIG	BIG	SMALL	-1.09	0.53	0.01
SMALL	BIG	BIG	BIG	0.47	0.70	0.00
BIG	SMALL	SMALL	SMALL	12.39	0.20	0.27
BIG	SMALL	SMALL	BIG	0.84	0.17	0.01
BIG	SMALL	BIG	SMALL	0.65	0.40	0.01
BIG	SMALL	BIG	BIG	0.00	0.40	0.00
BIG	BIG	SMALL	SMALL	0.56	0.44	0.00
BIG	BIG	SMALL	BIG	0.90	0.30	0.00
BIG	BIG	BIG	SMALL	-0.03	0.30	0.00
BIG	BIG	BIG	BIG	0.10	0.70	0.00

Analizując współczynnik zaufania I_n w tabeli 1 można stwierdzić, że ustawienie przeszkód pozwoliło na nauczenie się, w znacznym stopniu (większym od 0.2), tylko 5 reguł. Najczęściej uczona była reguła pierwsza odpowiedzialna za poruszanie się robota przy braku przeszkód. Na podstawie wartości współczynników wiarygodności w tabeli 1 można by wysunąć następujące wnioski:

1. Liczba przeszkód jest za mała - najczęściej uczona była reguła pierwsza odpowiedzialna za sytuację braku reguł.
2. Przeszkody należałoby „zagęścić” tak, aby uczone były również reguły opisujące sytuację, gdy w pobliżu robota znajdzie się więcej niż jedna przeszkoda.

Podsumowanie

Przedstawiono rozwiązanie zadania sterowania miniaturowym robotem mobilnym Khepera wykonującym zadanie omijania przeszkód. Do sterowania użyto systemu wnioskowania rozmytego Takagi-Sugeno, którego reguły zostały otrzymane w wyniku uczenia ze wzmocnieniem.

W celu oceny stopnia „zaufania” do reguł otrzymanych w wyniku uczenia, zdefiniowano wskaźnik będący miarą uczestnictwa reguł w procesie uczenia. Informacja o tym, które reguły nie były uczone w wystarczającym stopniu, może posłużyć do zmiany warunków uczenia (otoczenia robota), aby doprowadzić do bardziej równomiernego ich nauczenia. Zaproponowany współczynnik można z powodzeniem stosować do większości systemów wnioskowania rozmytego i przy różnych algorytmach uczenia.

Literatura

- [1] Beom H. R., Cho H. S., A Sensor - Based Navigation for a Mobile Robot Using Fuzzy Logic and Reinforcement Learning, IEEE Trans. SMC, vol. 25, no 3, pp. 464-477, 1995.
- [2] Kluska J., Sterowanie z logiką rozmytą, Zeszyty Nauk. Politechniki Rzeszowskiej, Seria Elektrotechnika, Zeszyt 12, Nr 104, Rzeszów, 1992.
- [3] K-Team, Khepera user manual, Lusanne, 1995.
- [4] Lin C.-T., A neural fuzzy control system with structure and parameter learning, Fuzzy Sets Syst., vol. 70, pp. 183-212, 1995.
- [5] Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L., Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Łódź, 1997.
- [6] Wiktorowicz K., Zajdel R., Sterowanie rozmyte robotem mobilnym Khepera, PAK 4/1997, s.112-115.
- [7] Zajdel R., Algorytmy rozmyto-neuronowe i ich zastosowanie do sterowania małym robotem mobilnym, Rozprawa doktorska, Wrocław, 1998.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

MWK'2003

VI SZKOŁA - KONFERENCJA „METROLOGIA WSPOMAGANA KOMPUTEROWO” MWK'2003 26-29 maja 2003 r., Waplewo k/Nidzicy

Organizator: Instytut Podstaw Elektroniki Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej

Współorganizatorzy: Komitet Metrologii i Aparatury Naukowej PAN

Ministerstwo Obrony Narodowej Wojskowy Nadzór Metrologiczny

Tematyka: Dydaktyczne problemy metrologii, teoria pomiaru, metrologia wielkości: elektrycznych, geometrycznych, cieplnych i przepływów fizyko-chemicznych, radiometria, systemy pomiarowe, monitoring, kompatybilność elektromagnetyczna, metrologia medyczna, diagnostyka układów oraz systemów elektrycznych i elektronicznych, systemy jakości oraz metrologia w Siłach Zbrojnych RP i NATO.

W części szkolnej zostaną wygłoszone następujące referaty:

- **WSPÓLRZĘDNOŚCIOWE TECHNIKI POMIAROWE** - Prof. Eugeniusz RATAJCZYK,
- **METROLOGICZNE PROBLEMY MODELOWANIA OBWODÓW ELEKTRONICZNYCH** - Prof. Valerij DIDENKO,
- **PROBLEMY POMIARU SZUMÓW I ZAKŁÓCEŃ** - Prof. Ludwik SPIRALSKI i dr Lech HASSE,
- **METODY ANALIZY SYGNAŁÓW POMIAROWYCH** - Prof. Tomasz ZIELINSKI.

W części konferencyjnej zostaną zaprezentowane referaty własne oraz referaty związane z projektami badawczymi i celowymi finansowanymi przez Komitet Badań Naukowych.

Konferencji towarzyszyć będzie wystawa sprzętu pomiarowego, oprogramowania i wydawnictw.

Koszt: Pełny koszt uczestnictwa z noclegami i wyżywieniem wynosi 940 zł. Wpłaty należy dokonać na konto:

Wojskowa Akademia Techniczna
ul. Kaliskiego 2
00-908 WARSZAWA 49
BPH PBK S.A. V O/WARSZAWA
11102018-422010001273
MWK'2003
Koniecznie z nazwiskiem uczestnika

Faktury VAT będą wystawiane tylko w przypadku pisemnego powiadomienia i podania niezbędnych informacji oraz po dokonaniu przelewu na podane konto bankowe.

Informacje dodatkowe:

a) informacji organizacyjnych udziela: Czesław Przybysz, tel.: (0-prefiks-22) 6 839 872, fax: (0-prefiks-22) 6 839 125, e-mail: cprzybysz@wel.wat.waw.pl

b) informacji finansowych udziela: Roman Wrona, tel.: (0-prefiks-22) 6 839 481, fax: (0-prefiks-22) 6 839 125, e-mail: rwnona@wel.wat.waw.pl

c) informacji o wystawie udziela: Mirosław Rusek, tel.: (0-prefiks-22) 6 837 626, fax: (0-prefiks-22) 6 839 125, e-mail: mrusek@wel.wat.waw.pl