

Tatiana TRETYAKOVA

ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE,
ul. Żołnierska 49, 71-215 Szczecin

Tworzenie kontentu baz wiedzy IDSS: pełne i zredukowane systemy reguł modeli rozmytych

Dr inż. Tatiana TRETYAKOVA

Adiunkt Katedry Inżynierii Zarządzania Wydziału Informatyki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Do roku 1991 pracownik naukowy Państwowego Naukowo-Badawczego Instytutu Hydrologicznego (St Petersburg, Rosja). W latach 2000-2003 wzięła udział w Międzynarodowym projekcie 5.go PR KE UE „ASIMIL”. Obszarem zainteresowań naukowych jest inżynieria wiedzy. Główna uwaga skierowana jest na problem jakości baz wiedzy dla Inteligentnych Systemów Wspomagania Decyzji.



e-mail: ttretiakova@wi.zut.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono problem jakości systemów reguł modeli rozmytych dla baz wiedzy inteligentnych systemów wspomagania decyzji (ang. Intelligent Decision Support Systems - IDSS). Problem ten jest rozpatrywany na przykładzie systemów wykorzystujących informację hydrometeorologiczną i wspomagających podejmowanie decyzji dotyczących lepszego zagospodarowania regionów ulegających wpływowi niebezpiecznych czynników hydrometeorologicznych. Wymieniono główne charakterystyki stosowane do oceny jakości systemu reguł modelu rozmytego. Akcent położono na wskaźnik kompletności lingwistycznego systemu reguł oraz na problem wyboru z kompletnego systemu reguł zredukowanych wariantów systemów reguł. Zaproponowano podejście do wyboru z pełnego systemu reguł wariantów zredukowanych systemów reguł oraz sformalizowano metodę obliczenia liczby możliwych wariantów zredukowanych systemów reguł z pełnego systemu reguł. Zaprezentowano wyniki modelowania w Matlab Fuzzy Logic na pełnych i zredukowanych systemach reguł.

Słowa kluczowe: baza reguł, model rozmyty, informacja hydrometeorologiczna, zredukowany system reguł.

Creating content of IDSS knowledge bases: full and reduced rule base of fuzzy models

Abstract

Various methodological approaches are used in knowledge based engineering for computer intelligent systems. A problem of the quality of rule base of fuzzy models developed for knowledge based IDSS is presented. This problem is considered on example IDSS/hm using the hydrometeorological information and supporting adaptation of regions to dangerous natural phenomena. The IDSS/hm can be included as a subsystem in regional management systems, help region in adaptation. The main characteristics of the quality of rule base of fuzzy models are described. A parameter of the linguistic rule base completeness and a problem of choice of the reduced variants of the rule base of fuzzy model from the complete rule base are emphasized. There is proposed an approach to choice of the reduced variants of rule base from the complete rule base and a formal method for calculating their number. The results of modelling in Matlab Fuzzy Logic on the full and reduced variants of rule base are presented.

Keywords: rule base, fuzzy models, hydrometeorological information, reduced variants of rule base.

1. Wstęp

Władze regionalne i lokalne na terenach zagrożonych niebezpiecznymi zjawiskami natury korzystają obecnie z różnego rodzaju technologii informatycznych wspomagających podejmowanie decyzji oraz trening personelu. Technologie te odgrywają ważną rolę w polepszeniu zdolności adaptacyjnych podmiotów gospodarczych i całych regionów poprzez umożliwienie podejmowania trafniejszych decyzji na różnych poziomach zarządzania lokalnego

i regionalnego [1, 4]. Wśród tych technologii można wyróżnić systemy informacji geograficznej (Geographical Information System - GIS), inteligentne systemy wspomagania decyzji (Intelligent Decision Support Systems - IDSS), komputerowe systemy szkolenia (Computer-Based Training Systems - CBTS) i inne.

Technologie te wykorzystuje się, ogólnie biorąc, do zarządzania wiedzą użytkowników, ponieważ wspomagają pozyskiwanie, projektowanie i rozpowszechnienie wiedzy niezbędnej w procesach decyzyjnych. Przy tworzeniu Regionalnego Systemu Informacyjnego (RSI) wyposażonego w inteligentne systemy klasy IDSS/hm oraz CBTS/hm (dodatkowe oznaczenie „hm” mówi o tym, że te systemy należą do systemów uwzględniających informację hydrometeorologiczną) jako cel przyjmuje się opracowanie na zasadzie „emergence” złożonych regionalnych systemów adaptacyjnych podobnych do naturalnych ekosystemów. Stworzenie takiego RSI daje efekt synergetyczny polegający na współdziałaniu ludzi (decydentów-użytkowników tego systemu), technologii oraz wykorzystaniu wiedzy w drodze adaptacji regionu do zagrożeń natury.

Najważniejszą składową dowolnego inteligentnego systemu jest baza wiedzy. Przy tworzeniu baz danych i baz wiedzy dla systemów klasy GIS, IDSS/hm, CBTS/hm powinien być rozwiązany problem ich jakości. Dla każdej klasy wymienionych systemów ten problem jest rozwiązywany w różny sposób. Na przykład, problem wiarygodności i aktualności informacji przestrzennej, wykorzystywanej przy podejmowaniu decyzji w regionalnym i lokalnym planowaniu strategicznym, zostanie z czasem rozwiązany przez stworzenie odpowiednich aplikacji dla krajowych i regionalnych GIS, które zawierają zbiory danych referencyjnych [2, 3]. R. Olszewski, charakteryzując w pracy [2] dane referencyjne jako „...zbiór danych przestrzennych, które mogą stanowić podstawę do gromadzenia danych specjalistycznych o charakterze tematycznym...”, podkreślił niezbędność stosowania standardów ISO i CEN w celu zapewnienia jakości baz danych: „...organizacja GSDI (Global Spatial Data Infrastruktury) zaleca powszechnie stosowanie standardów, zarówno przy wytwarzaniu danych przestrzennych, określeniu ich struktury, stosowania otwartego formatu wymiany z innymi systemami, jak i gromadzeniu i udostępnianiu metadanych...”. Czynnikiem decydującym o jakości baz danych i baz wiedzy systemów klasy GIS, IDSS/hm, CBTS/hm są nie tylko wiarygodność i aktualność danych. Przy tworzeniu baz wiedzy inteligentnych systemów wymienionych klas ważne jest również zapewnienie wiarygodności, jak i ścisłości modeli procesów i systemów w nich zawartych.

2. Bazy wiedzy inteligentnych systemów: problem zapewnienia jakości

W celu pozyskiwania metod zapewniających tworzenie jakościowych baz wiedzy inteligentnych systemów klasy IDSS oraz CBTS autorka wybrała dziedzinę zastosowania tych systemów zgodnie z dokumentami europejskimi wskazującymi na niezbędność zapewnienia racjonalnego rozmieszczenia obiektów gospodarczych na terenach zagrożonych niebezpiecznymi zjawiskami hydrometeorologicznymi (Zielona Księga KE UE) oraz na niezbędność zarządzania wiedzą kadry przez profesjonalną edukację i trening (Vocational Education and Training, VET) na bazie IT (tezy i wskazówki Strategii Lizbońskiej, Deklaracji Bolońskiej, Strategii e-Bologna). W związku z tym, obiektem badań autorki zostały bazy wiedzy systemów klasy IDSS/hm oraz CBTS/hm, które są skierowane właśnie na rozwiązanie zadań w zarządzaniu regionalnym i treningu na zagrożonych terenach [5]. Zauważmy, że struktury kontentu baz wiedzy systemów klasy IDSS/hm

i CBTS/hm różnią się tylko tym, że w systemach klasy CBTS/hm powinna być dodatkowo umieszczona wiedza stosowana do realizacji funkcji wirtualnego trenera w procesie treningu. Jest to wiedza pozwalająca w sposób zautomatyzowany zaplanować zadania dla ucznia, ocenić wykonanie tych zadań oraz wygenerować pomoc i sformułować porady dla ucznia. W związku z tym, problem jakości baz wiedzy jest rozpatrywany dalej tylko na przykładzie systemu klasy IDSS/hm wspomagającego podejmowanie decyzji na jednym z etapów procesu planowania strategicznego na poziomie regionalnym. Jest to etap konkursu projektów dotyczących rozmieszczenia nowych obiektów na terenie zagrożonym niebezpiecznym zjawiskiem natury. Zwykle na tym etapie planowania strategicznego trudno jest ocenić rezultaty decyzji podjętych z uwzględnieniem czynników hydrometeorologicznych, bo nie istnieją jasne algorytmy rozwiązania powstających pod ich wpływem problemów. Właśnie w takich przypadkach systemy klasy IDSS/hm mogą być wykorzystane dla zwiększenia trafności decyzji, podejmowanych z uwzględnieniem niepewnej i niepełnej informacji [6, 7]. Właśnie niepewność i niepełność są charakterystyczne dla informacji hydrometeorologicznej, a decyzje na jej podstawie podejmowane są w warunkach „rozmytych”. Zgodnie z podejściem Bellmana i Zadeha [8, 9] warunki rozmyte są opisywane przez cele rozmyte, ograniczenia rozmyte i decyzje rozmyte.

W celu przeprowadzenia analizy i symulacji na modelach zawartych w bazach wiedzy systemów IDSS/hm, które odzwierciedlają własności problemów powstających pod wpływem czynników hydrometeorologicznych (są to zwykle problemy słabo sformalizowane) wykorzystuje się najczęściej rozmyte systemy produkcyjne (Rule-Based Fuzzy Models/Systems).

Rozwiązaniu zadania tworzenia jakościowych baz wiedzy poświęcono znaczną ilość publikacji, w tym [8, 9, 10]. Jądem tego problemu jest zadanie budowy jakościowego systemu reguł bazy wiedzy modelu rozmytego. W pracy A.Piegata [10] podkreślono, że „...Baza reguł zawiera główną część wiedzy o modelowanym systemie, główną część „inteligencji” modelu rozmytego. Dlatego umiejętność prawidłowego jej zaprojektowania jest bardzo ważna. Zapobiega to popełnianiu błędów, które ze względu na znaczenie bazy reguł w modelu rozmytym są zwykle błędami „grubymi”...”. W niniejszym artykule zadanie budowy jakościowego systemu reguł zostało rozpatrzone na przykładzie systemu klasy Rule-Based Fuzzy Models/Systems tworzonego dla IDSS/hm. Ważną rolę w systemach reguł odgrywają modele lingwistyczne (fuzzy linguistic models), które zawierają rozmyte zmienne lingwistyczne oraz zbiory rozmyte. Aby zbudować jakościowy model rozmyty, którego charakterystyki wejściowe/wyjściowe są opisywane za pomocą rozmytych zmiennych lingwistycznych, należy trzymać się określonych zasad badania głównych charakterystyk systemów reguł w celu zapewnienia właściwej jakości tych systemów.

3. Główne charakterystyki systemu reguł modelu rozmytego stosowane do oceny jego jakości

W pracy [10] wymieniono charakterystyki jakości systemów reguł baz wiedzy:

- struktura charakterystyk wejściowych/wyjściowych,
- pełność (kompletność) bazy reguł,
- zgodność (niesprzeczność) reguł,
- redundancja (nadmiarowość).

Badanie wymienionych charakterystyk przeprowadzono na systemie reguł, w których przesłanka i wniosek przedstawione są w formie koniunktywnej:

$$R_i : \text{If } x_1 = A_{i1} \dots x_j = A_{ij} \dots \text{ and } x_m = A_{im},$$

$$\text{Then } y_1 = B_{i1} \dots \text{ and } y_k = B_{ik} \dots \text{ and } y_p = B_{ip} \quad (1)$$

gdzie:

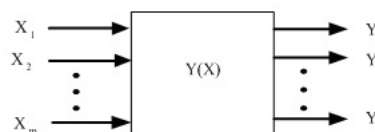
$x_j, (j = \overline{1, m})$ - rozmyte zmienne wejściowe,

$x_j \in X_j; y_k (k = \overline{1, p})$ - rozmyte zmienne wyjściowe,

$y_k \in Y_k; A_{ij}, B_{ik}$ - termy lingwistyczne z funkcjami przynależności

$$\mu_{A_{ij}}(x_j) \in [0, 1], \mu_{B_{ik}}(y_k) \in [0, 1].$$

Rozpatrywany model rozmyty IDSS przedstawimy jako strukturę pokazaną na rys. 1.



Rys. 1. Struktura modelu rozmytego IDSS
Fig. 1. Structure of fuzzy model of IDSS

Założmy, że każdej wejściowej zmiennej lingwistycznej X_j odpowiada p_j elementów zbioru termów tej zmiennej, gdzie $j = \overline{1, m}$, a każdej wyjściowej zmiennej lingwistycznej Y_k odpowiada p_k elementów zbioru termów tej zmiennej, gdzie $k = \overline{1, n}$.

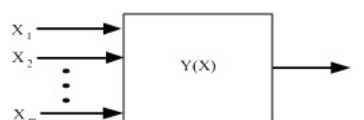
Jedną z ważniejszych charakterystyk systemu reguł jest pełność (kompletność). Zgodnie z podaną w pracy [10] definicją, baza reguł jest *lingwistycznie kompletna (pełna)*, jeśli każdemu lingwistycznemu stanowi wektora wejść $(A_{1k}, \dots, A_{2l}, \dots, A_{np})$ przyporządkowuje się co najmniej jeden lingwistyczny stan wyjścia B_j .

Zgodnie z tą definicją dla systemu przedstawionego na rysunku 1 minimalną niezbędną ilość reguł produkcyjnych obliczamy za pomocą wzoru (2):

$$R = \max \{ p_j \in i(\overline{1, m}); p_k \in k(\overline{1, n}) \} \quad (2)$$

W typowym przypadku, kiedy projektowany system wspomagania decyzji jest przedstawiony w postaci pokazanej na rysunku 2, to wzór (2) przyjmie postać (3):

$$R = \max \{ p_j \in i(\overline{1, m}); p_y \} \quad (3)$$



Rys. 2. Struktura modelu rozmytego (jedno wyjście)
Fig. 2. Structure of fuzzy model (one input)

Oprócz tego, zgodnie z przytoczoną definicją kompletności systemu reguł, wzory (2) i (3) należy uzupełnić o następujące wskazówki:

- każdy term każdej zmiennej wejściowej jest wykorzystywany chociażby w jednej z reguł jako przesłanka;
- istnieje chociażby jedna reguła dla każdego termu wyjściowej zmiennej lingwistycznej.

System reguł powinien być kształtowany w taki sposób, aby umożliwić uzyskanie wszystkich kombinacji funkcji przynależności dla zmiennych lingwistycznych. To oznacza, że liczba reguł rozmytych o koniunktywnej formie przesłanki niezbędnych do pełnego pokrycia przestrzeni wejściowych zmiennych lingwi-

stycznych powinna być określona zgodnie ze wzorem (4), przedstawionym w pracy [11]:

$$P = \prod_{j=1}^m p_j \quad (4)$$

gdzie: m – wymiarowość wektora wejścia modelu rozmytego, p_j – liczba elementów zbioru termów wejściowej zmiennej lingwistycznej z odpowiednim indeksem „ j ”. Wzór (4) pozwala obliczyć maksymalną możliwą liczbę niesprzecznych reguł.

W taki sposób wzór (2) przy uwzględnieniu dwóch dodatkowych wskazówek oraz wzór (4) pozwalają określić możliwy zakres zmiany liczby niesprzecznych reguł w bazie wiedzy IDSS.

Jeśli liczba reguł w bazie wiedzy jest mniejsza, niż to zostało określone zgodnie ze wzorem (2), to reguł nie wystarczy aby zbudować model systemu A . Jeśli liczba reguł jest większa, niż określono, to zgodnie ze wzorem (4), taki system reguł jest redundantnym (nadmiarowym). Wynika z tego, że można wprowadzić zmiany we wcześniejszej podanych definicjach pełności (kompletności) systemu reguł.

System reguł, który zgodnie z definicją w pracy [10] nazywa się pełnym, można nazwać *minimalnie-niezbędnym*. A system, którego liczba reguł jest określona zgodnie ze wzorem (4), można nazwać *pełnym (kompletnym)*. W niniejszym artykule wykorzystuje się dalej właśnie to tłumaczenie pojęć „minimalnie-niezbędny” oraz „pełny (kompletny)”

Formalnie wskaźnik charakteryzujący **kompletność** bazy reguł może być przedstawiony zgodnie z prostym wzorem:

$$C = N / P \quad (5)$$

gdzie:

C – wskaźnik kompletności lingwistycznej bazy reguł,
 N – liczba reguł uwzględnianych w mechanizmie wnioskowania,
 P – maksymalnie możliwa liczba niesprzecznych reguł.

Pełny (kompletny) lingwistycznie system reguł charakteryzuje się wskaźnikiem $C = 1$. Wskaźnik $C > 1$ świadczy o redundancji (nadmierności) systemu reguł.

A priori jest oczywiste, że pełny (kompletny) system reguł zawiera bardziej wiarygodną informację o modelowanych procesach i jest bardziej ścisły, niż zredukowany wariant systemu reguł. Jednak, jak wiadomo, dążenie do zapewnienia pełności systemu reguł może wywoływać wielką wymiarowość modelu rozwiązywanego problemu. Na przykład, jeśli projektowany system wspomagania decyzji posiada cztery wejściowe zmienne lingwistyczne, z których trzy zawierają po trzy termy, a jedna zmienna zawiera cztery termy, to pełna liczba reguł wynosi 108. Ten przykład jest dość charakterystyczny dla systemów reguł baz wiedzy projektowanych systemów wspomagania decyzji [12].

Zwiększenie liczby reguł w bazach wiedzy IDSS, z jednej strony podnosi ścisłość wniosków systemu wspomagania decyzji. Z drugiej strony, może to wywoływać trudności z analizą i oceną wyników. W związku z tym przy kształtowaniu systemu reguł eksperci zwykle dążą do zmniejszenia liczby reguł N w bazie reguł.

Wybór z pełnego systemu reguł wariantów zredukowanych systemów reguł ogranicza się warunkiem:

$$\{R \leq N \leq P\} \quad (6)$$

gdzie:

N – liczba reguł w *zredukowanej* bazie reguł,
 R – *minimalnie-niezbędna* liczba reguł w systemie reguł,
 P – liczba reguł w *pełnym (kompletnym)* systemie reguł.

Inaczej, wybór z pełnego systemu reguł wariantów zredukowanych systemów reguł ogranicza się warunkiem, aby wskaźnik kompletności C mieścił się w granicach (wzór 7):

$$\{C_{\min} \leq C \leq 1\} \quad (7)$$

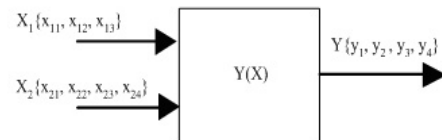
Wskaźnik kompletności $C = C_{\min}$ odpowiada warunkowi minimalnie-niezbędnej liczbie reguł w bazie reguł modelu rozmytego, natomiast wskaźnik $C = 1$ odpowiada warunkowi pełnego (kompletnego) systemu reguł.

Liczbę wariantów zredukowanych systemów reguł określa się liczbą kombinacji po k reguł z ogólnej liczby P reguł zgodnie ze wzorem (8):

$$C_P^k = \frac{P!}{k!(P-k)!} \quad (8)$$

Rozpatrzmy proces obliczenia możliwej liczby zredukowanych systemów reguł na przykładzie modelu rozmytego zawierającego dwie zmienne lingwistyczne, z których każda jest reprezentowana odpowiednio przez trzy i cztery termy, a zmienna lingwistyczna wyjściowa - przez cztery termy (rys. 3).

Zgodnie z wzorem (4) pełny (kompletny) system reguł powinien zawierać 12 reguł. Minimalnie-niezbędna liczba reguł dla tego samego systemu powinna stanowić 4 reguły. W ten sposób otrzymuje się warianty wyboru zredukowanych systemów w zakresie od 4 do 12 reguł. Istnieje wiele takich wariantów.



Rys. 3. Struktura rozmytego modelu (dwa wejścia)
 Fig. 3. Structure of fuzzy model (two inputs)

Obliczamy liczbę możliwych kombinacji zredukowanych systemów reguł zawierających:

- 8 reguł z 12-tu możliwych - należy rozpatrzyć 495 wariantów systemów reguł,
- 9 reguł z 12-tu - należy rozpatrzyć 220 wariantów,
- 10 reguł z 12-tu - należy rozpatrzyć 66 wariantów,
- 11 reguł z 12-tu - należy rozpatrzyć 12 wariantów systemów reguł.

Każdy z wariantów systemu reguł powinien być sprawdzony, czy spełnia warunek minimalnej niezbędności, ponieważ nie każdy wariant zredukowanego systemu reguł będzie odpowiadał temu warunkowi z uwzględnieniem następujących wskazówek:

- istnieje chociażby jedna reguła dla każdego termu wyjściowej zmiennej lingwistycznej,
- każdy term każdej zmiennej wejściowej jest wykorzystywany chociażby w jednej z reguł jako przesłanka.

Wybór wariantów zredukowanego systemu reguł powinien być dokonywany z kompletnego zbioru reguł bez żadnych poprawek reguł w procesie wyboru. Taki sposób gwarantuje zapewnienie spełnienia warunków *zgodności* i *niesprzeczności* reguł w bazie wiedzy. W literaturze przedmiotu dyskutuje się różne metody redukcji liczby reguł rozmytych w modelu rozmytym bazy wiedzy systemu wspomagania decyzji. Są to między innymi metody nadawania rang, kaskadowa integracja systemów rozmytych reguł produkcyjnych i inne. Analiza i przedyskutowanie tych podejść jest przedmiotem badań, które wychodzą poza ramy niniejszej pracy.

Aby uniknąć *sprzeczności reguł* przy tworzeniu systemu reguł, według autorki, należy kierować się następującymi wskazówkami metodycznymi:

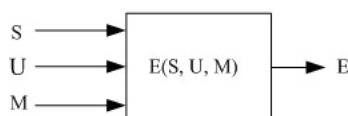
- przy dowolnej liczbie zmiennych wejściowych tylko jedna z nich powinna być rozpatrywana jako główna (niezależna zmienna wejściowa); pozostałe zmienne wejściowe mogą być rozpatrywane jako podporządkowane czynniki wpływu,
- dla prostoty budowy i analizy uzyskanych zależności (wniosków systemu wspomagania decyzji) liczba termów obu zmiennych: głównej wejściowej i głównej wyjściowej, powinna być jednakowa.

Czynnikami wpływającym na charakter rozwiązań proponowanych przez system wspomagania decyzji jest, oczywiście, *typ funkcji przynależności oraz jej parametry*. Rola badania wpływu tego czynnika w systemach sterowania różnymi obiektami technicznymi jest ważniejsza w porównaniu z systemami wspomagania decyzji w działalności gospodarczej. Tym niemniej, i w tym przypadku zadanie badania wpływu charakterystyk funkcji przynależności na rozwiązania IDSS także jest interesujące. Według autorki, różne analityczne przedstawienia funkcji przynależności i badania własności geometrycznych nie są w wystarczającym stopniu reprezentatywnymi. Bardziej reprezentatywnym jest bezpośrednie porównanie rezultatów badań modeli systemu reguł baz wiedzy zbudowanych z zastosowaniem różnych typów funkcji przynależności. W odniesieniu do tego zadania przedstawiono rezultaty badań jakości rozmytych systemów reguł baz wiedzy IDSS/hm.

4. Badania modelowe rozmytego modelu systemu wspomagania decyzji

W niniejszym rozdziale, na przykładzie modelu rozmytego z trzema wejściami i jednym wyjściem, dokonano porównania i analizy rozwiązań systemu wspomagania decyzji zaproponowanych na podstawie wykorzystania różnych wariantów niekompletnego (zredukowanego) systemu reguł.

Jako modelowy przykład rozpatrzone zostało zadanie podejmowania decyzji o możliwości rozmieszczenia obiektu gospodarczego na terenie zagrożonym niebezpiecznymi zjawiskami natury. Obiekt ten charakteryzuje się różnym stopniem wartości socjalno-ekonomicznej dla danego regionu, a teren różnym stopniem przydatności do rozmieszczenia danego obiektu. Schemat strukturalny modelu rozmytego IDSS przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Struktura rozmytego modelu IDSS
Fig. 4. Structure of fuzzy model of IDSS

Zmienne lingwistyczne i zbiory termów tego systemu mają następującą treść:

- S (significance) - ważność socjalno-ekonomiczna obiektu gospodarczego dla danego regionu
 $T_S = \{S_1 - \text{mała}, S_2 - \text{duża}\}, X_S = [0, 5]$;
- U (useful) – przydatność terenu do rozmieszczenia danego obiektu
 $T_U = \{U_1 - \text{mała}, U_2 - \text{duża}\}, X_U = [0, 5]$
- M (meteo) - wpływ czynników hydrometeorologicznych na funkcjonowanie obiektu gospodarczego rozmieszczonego na zagrożonym terenie,
 $T_M = \{M_1 - \text{mały}, M_2 - \text{średni}, M_3 - \text{duży}, M_4 - \text{bardzo duży}\}, X_M = [0, 100]$;
- E (expedience) – racjonalność rozmieszczenia obiektu na zagrożonym terenie,
 $T_E = \{E_1 - \text{nie racjonalne}, E_2 - \text{jest możliwe}, E_3 - \text{zalecane}, E_4 - \text{decydująco zalecane}\}, X_E = [0, 100]$.

W procesie wnioskowania IDSS powinien dać odpowiedź na pytanie: czy jest możliwe i w jakim stopniu rozmieszczenie danego obiektu gospodarczego na danym zagrożonym terenie przy uwzględnieniu charakterystyk wejściowych przedstawionych w postaci zmiennych lingwistycznych? Odpowiedź (zmienna lingwistyczna E) powinna być przedstawiona na uniwersalnym zbiorze T_E znaczeń tej zmiennej lingwistycznej w postaci odrębnych zmiennych rozmytych E_i , dla których obszarem pozyskiwania znaczeń jest uniwersum $X_E [0, 100]$.

Zgodnie ze wzorem (4) pełna (kompletna) liczba reguł przedstawionych w formie koniunktywnej dla rozmytego modelu stanowi w tym przypadku 16 reguł. Reguły te są zebrane w tabeli 1.

Tab. 1. Pełny system reguł dla rozmytego modelu IDSS (rys. 4)
Tab. 1. Full rule base of fuzzy model of IDSS (fig. 4)

	If		And				Then					
	S1	S2	U1	U2	M1	M2	M3	M4	E1	E2	E3	E4
1	•		•		•							
2	•		•			•					•	
3	•		•				•		•			
4	•		•					•	•			
5	•			•	•						•	
6	•			•		•					•	
7	•			•			•		•			
8	•			•				•	•			
9		•	•		•							•
10		•	•			•						•
11		•	•				•			•		
12		•	•					•		•		
13		•		•	•							•
14		•		•		•						•
15		•		•			•					•
16		•		•				•				•

Należy przypomnieć, że minimalnie-niezbędny system reguł dla rozpatrywanego systemu powinien zawierać 4 reguły. Zauważmy przy tym, że liczba możliwych wariantów z 16 reguł po 4 reguły wynosi 1820.

W tabeli 2 są przedstawione rezultaty modelowania rozpatrywanego systemu w pakiecie Matlab Fuzzy Logic na podstawie realizacji algorytmu Mamdaniego z zastosowaniem funkcji przynależności typu Gaussa, dla pełnego systemu 16 reguł.

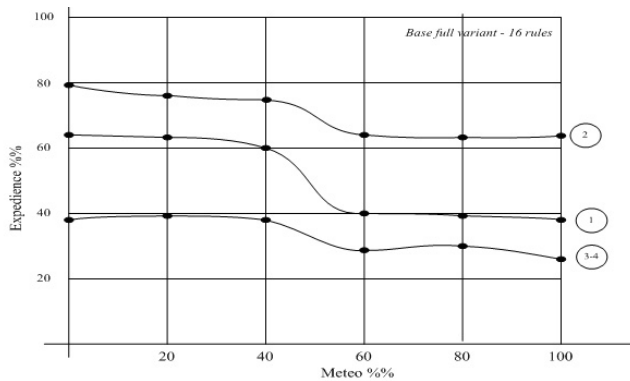
Tab. 2. Rezultaty modelowania – warianty możliwych rozwiązań dla pełnego systemu reguł

Tab. 2. Results of modelling - variants of decisions for full rule base

Ważność obiektu gospodarczego dla danego regionu significance S $< 0 \div 10 >$	Przydatność terenu do rozmieszczenia danego obiektu useful U $< 0 \div 10 >$	Racjonalność rozmieszczenia obiektu na terenie Expedience $< 0, 100 >$					
		Wpływ czynników hydrometeorologicznych - Meteo $< 0 \div 100 >$					
		0	20	40	60	80	100
Duża $S_2=10$	Mała $U_1=1$	63,9	63,4	59,9	40,3	38,7	37,9
Duża $S_2=10$	Duża $U_2=10$	78,8	76	74,9	64,2	63,3	63,8
Mała $S_1=1$	Mała $U_1=1$	38,1	38,9	37,7	28,5	29,5	26,3
Mała $S_1=1$	Duża $U_2=10$	37,9	38,8	37,7	28,5	29,4	26,3

Na podstawie danych z tabeli 2 zbudowano wykresy pozwalające ocenić i porównać między sobą proponowane rozwiązania.

Na rysunku 5 najciekawiej wygląda przypadek przedstawiony przez krzywą 1. Ta krzywa charakteryzuje sytuację, gdy dany obiekt ma największą ważność dla danego terenu przy najmniejszej przydatności tego terenu dla jego rozmieszczenia. W tym przypadku celowość rozmieszczenia danego obiektu na tym terenie w największym stopniu zależy od wpływu czynników hydrometeorologicznych.



1) Significance of object: high S2=10, Useful of territory: small U1=1
 2) Significance of object: high S2=10, Useful of territory: high U2=10
 3-4) Significance of object: small S1=1, Useful of territory: high U2=10, small U1=1

Rys. 5. Porównanie rozwiązań, proponowanych przez ISWD przy zastosowaniu pełnego (kompletnego) systemu reguł (funkcje przynależności typu Gaussa)
 Fig. 5. Comparison of the decisions offered by IDSS when using full (complete) rule base (the Gauss membership function)

Dalej w tabeli 3 przedstawione są rezultaty modelowania systemu z zastosowaniem zredukowanych systemów reguł. Zamodelowano sytuacje, w których w zredukowanym systemie reguł wykorzystano reguły, których liczba przekroczyła liczbę minimalnie-niezbędnych reguł, ale była mniejsza, niż zostało to przedstawione w kompletnym systemie reguł.

Z pełnego systemu reguł, przedstawionych w tabeli 1, zostały wybrane 4 warianty zredukowanych systemów reguł. Zauważmy, że ogólna liczba możliwych wariantów zredukowanych systemów reguł z pełnego systemu (16 reguł) wynosi :

- a) dla systemów 12 reguł – 1820 wariantów,
- b) dla systemów 8 reguł – 12870 wariantów,
- c) dla systemów 6 reguł – 8008 wariantów,
- d) dla systemów 4 reguł (minimalnie-niezbędnych)– 1820 wariantów.

Z tego wachlarza systemów reguł (tabela 1) dla modelowych badań losowo zostały wybrane następujące warianty reguł:

- a) system 12 reguł $R_1 : \{P2 \div P13\}$;
- b) system 8 reguł R_2 (wariant 2) : $\{P1 \div P4, P13 \div P16\}$;
- c) system 8 reguł R_3 (wariant 3) : $\{P5 \div P11, P13\}$;
- d) system 6 reguł $R_4 : \{P5 \div P9, P13\}$;
- e) system 4 reguł R_5 (minimalnie-niezbędny): $\{P2, P4, P13, P15\}$

Przy sprawdzeniu wyników zostało wyjaśnione, że wszystkie wybrane warianty odpowiadają warunkom minimalnej niezbędności.

Tab. 3. Rezultaty modelowania – warianty możliwych rozwiązań dla pełnego, zredukowanego i minimalnie-niezbędnego systemu reguł (wariant: ważność obiektu gospodarczego dla danego regionu **significance S2 = 10 – duża** przydatność terenu do rozmieszczenia danego obiektu **useful U2 = 10 – duża**)

Tab. 3. Results of modeling - variants of possible decisions for the full, reduced and minimal - necessary rule base (variant: economic significance of object for the given region - **significance S2 = 10 - big**, suitability of territory for accommodation of the given object **useful U2 = 10 - big**)

	Racjonalność rozmieszczenia obiektu na terenie							
	Expedience $X_E = [0,100]$							
	Wpływ czynników hydrometeorologicznych							
	Meteo $X_M = [0,100]$							
	0	20	40	60	80	100	0	20
1. Pełny system - 16 reguł	78,8	76	74,9	64,2	63,3	63,8	78,8	76
2. Zredukowany system - 12 reguł	78,8	70,8	50	50	36,7	35,9	78,8	70,8
3. Zredukowany system - 8 reguł	78,8	76	74,9	64,2	63,3	63,8	78,8	76
4. Min-niezbędny system - 4 reguły	78,8	70,8	58,3	63,7	63,3	50	78,8	70,8

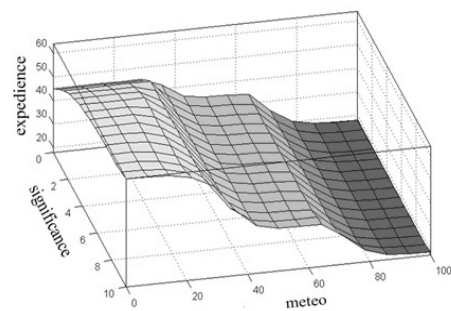
W tabeli 4 przedstawiono wyniki modelowania dla częściowo zmienionych warunków tego samego zadania.

Tab. 4. Rezultaty modelowania – warianty możliwych rozwiązań dla pełnego, zredukowanego i minimalnie-niezbędnego systemu reguł (wariant: ważność obiektu gospodarczego dla danego regionu **significance S2 = 10 – duża**, przydatność terenu do rozmieszczenia danego obiektu **useful U1 = 1 – mała**)
 Tab. 4. Results of modelling - variants of possible decisions for the full, reduced and minimal - necessary rule base (variant: economic significance of object for the given region - **significance S2 = 10 - big**, suitability of territory for accommodation of the given object **useful U1 = 1 - small**)

	Racjonalność rozmieszczenia obiektu na terenie							
	Expedience $X_E = [0,100]$							
	Wpływ czynników hydrometeorologicznych							
	Meteo $X_M = [0,100]$							
	0	20	40	60	80	100	0	20
1. Pełny system - 16 reguł	63,9	63,4	59,9	40,3	38,7	37,9	63,9	63,4
2. Zredukowany system - 12 reguł	63,9	63,4	59,8	40,2	33,9	33,7	63,9	63,4
3. Zredukowany system - 8 reguł	56,2	56,2	55,5	55,5	55	55	56,2	56,2
4. Min-niezbędny system - 4 reguły	56,2	56,2	55	55	55	50	56,2	56,2

Analiza wyników przytoczonych w tabelach 3 i 4 pokazuje znaczną, a w niektórych sytuacjach chaotyczną, rozbieżność wyników uzyskiwanych przy wykorzystaniu pełnych i zredukowanych systemów reguł. Spełnienie warunków minimalnej niezbędności we wszystkich rozpatrywanych przypadkach nie jest wystarczającym warunkiem dla uzyskania wyników blisko zbieżnych z wynikiem uzyskanym przy wykorzystaniu pełnego (kompletnego) systemu reguł.

Otrzymane wyniki można przedstawić w postaci zależności przestrzennych takiego typu, jak pokazano na rysunku 6.



Rys. 6. Porównanie rozwiązań, proponowanych przez ISWD przy zastosowaniu zredukowanego systemu reguł (6 reguł) (funkcje przynależności typu Gaussa, przydatność terenu do rozmieszczenia danego obiektu **useful U1 = 1 – mała**)

Fig. 6. Comparison of the decisions of IDSS, when using the reduced rule base (6 rules) (Gauss Membership function, suitability of territory for accommodation of the given object: useful U1=1- small)

Wyniki badań przeprowadzonych w pakiecie Matlab Fuzzy Logic potwierdzają znany fakt, że korzystanie z pełnych baz reguł w procesie symulacji modelu rozmytego daje lepsze wyniki, niż w przypadku użycia zredukowanych baz reguł. Tworzenie pełnego systemu rozmytego jest pracochłonne, jednak proces tworzenia baz reguł zredukowanych dla modelu rozmytego także charakteryzuje się dużą pracochłonnością, szczególnie na etapie pozyskiwania reguł spełniających warunki minimalnej niezbędności.

5. Wnioski

Jak pokazują wyniki przeprowadzonych badań tworzenie zredukowanych systemów reguł jest mniej pracochłonne niż wykorzystanie pełnych systemów reguł, ale też wymaga dużych nakładów.

dów pracy. W rzeczywistości, tworzenie wariantów zredukowanych, które są zgodne z warunkiem minimalnej niezbędności, wymaga przeanalizowania wielkiej liczby możliwych wariantów zredukowanych systemów reguł. Na przykład, jeśli pełny system reguł zawiera 16 reguł, a minimalnie niezbędny system reguł powinien zawierać tylko 4 reguły, to dla prawidłowego wyboru ze wszystkich minimalnie niezbędnych systemów reguł należało rozpatrzyć 1820 wariantów kombinacji reguł z 16 po 4 reguły. W przypadku, jeśli liczba reguł w pełnym systemie wynosi 12, a liczba minimalnie niezbędnych reguł wynosi 4, to należało rozpatrzyć 495 wariantów kombinacji reguł po 4 z 12-tu. Potwierdzają to wyniki badań przedstawionych w niniejszym i w poprzednich [12, 14] publikacjach autorki. Zaproponowane w artykule podejście do wyboru z pełnego systemu reguł wariantów zredukowanych systemów reguł oraz przedstawiona sformalizowana metoda obliczenia liczby możliwych wariantów zredukowanych systemów reguł z pełnego systemu reguł ułatwiają i normalizują proces tworzenia zredukowanych systemów reguł.

6. Literatura

- [1] Tretyakova T., Zair A.: The structure and knowledges of the intelligent system of warning and decision's support that includes local systems. Proceedings of the 15-th International Conference Advanced Computer Systems. ACS'2008, Szczecin, Poland, 2008.
- [2] Gotlib D., Cwaniak A., Olszewski R.: GIS. Obszary zastosowań. PWN, Warszawa, 2007
- [3] Gotlib D.: Możliwości wykorzystania analitycznych metod projektowania systemów informatycznych w tworzeniu baz danych przestrzennych. na przykładzie topograficznego systemu informacyjnego. Oficyna Wyd. Polit. Warszawskiej, Warszawa, 2001..
- [4] Tretyakova T., Zair A.: Elicitation and structuring of knowledge for intelligence subsystems of Decision Support Systems. Polish Journal of Environment Studies, Vol.17, No. 3B, 2008.
- [5] Projekt „Opracować metodę oceny socjalno-ekonomicznej przedsięwzięć zapobiegawczych i ochronnych w warunkach istniejącego zagrożenia lawinami błotnymi” St Petersburgski Państwowy Naukowo-Badawczy Instytut Hydrologiczny, 1990.
- [6] Tretyakova T.: Fuzzy components in the contents of knowledge bases of intelligent decision support systems (on an example of use of hydrometeorological information in regional management). W: Metody informatyki stosowanej Nr 2 (19), wyd. PAN Oddział w Gdańsku, Komisja Informatyki, Poland, 2009.
- [7] Tretyakova T.: Fuzzy modeling at creation of knowledge's base for intelligent decision support systems in conditions of threat of the dangerous hydrometeorological phenomenon. Elektronika, Nr 11, Poland, 2009.
- [8] Belman R.E., Zadeh L.A.: Decision making in fuzzy environment. Management Science 17, 1970.
- [9] Kacprzyk J.: Komputerowe systemy wspomaganie decyzji dla potrzeb zarządzania wiedzą. W ks.: pod. red. R. Kulikowskiego, Z. Bubnickiego, J. Kacprzyka: Systemowo-komputerowe wspomaganie zarządzania wiedzą. Akademicka Oficyna wydawnicza ELIT, Warszawa, 2006.
- [10] Piegat A.: Fuzzy modeling and Control, Physica-Verlag Hejderberg, NY, 2001
- [11] Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S.: Nieczotkije modeli i sieti. Moskwa, Telekom, 2007 (w języku rosyjskim).
- [12] Tretyakova T.: Estimation of rule base's quality of fuzzy models of intelligent decision support systems. W czasopiśmie: Pomiary Automatyka Kontrola, nr 12, Poland, 2010.
- [13] Belman R.E., Zadeh L.A.: Decision making in fuzzy environment. Management Science 17, 1970.
- [14] Tretyakova T.: Jakość baz wiedzy inteligentnych systemów wspomaganie decyzji – podejście do tworzenia i metody oceny. Studia i materiały PSZW nr 37, Bydgoszcz, 2011.

otrzymano / received: 03.11.2011

przyjęto do druku / accepted: 03.01.2012

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Wydawnictwo PAK

specjalizuje się w wydawaniu czasopisma Pomiary Automatyka Kontrola i książek popularno-naukowych w dziedzinie automatyki i pomiarów

Osoby i firmy przemysłowe zainteresowane współpracą z Wydawnictwem proszone są o kontakt bezpośredni dla uściślenia szczegółów współpracy

Wydawnictwo PAK
00-050 Warszawa
ul. Świętokrzyska 14A
tel./fax 22 827 25 40

Redakcja PAK
44-100 Gliwice
ul. Akademicka 10, p. 30b
tel./fax 32 237 19 45
e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl