KIWIEL

POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

WSPOMAGANIE DECYZJI SYSTEMY EKSPERCKIE

pod redakcją
Romana Kulikowskiego i Lucyny Bogdan

Warszawa 1995

WSPOMAGANIE DECYZJI

SYSTEMY EKSPERCKIE

pod redakcją

Romana Kulikowskiego i Lucyny Bogdan

Warszawa 1995

Wydano z wykorzystaniem dotacji
KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH

Materiały konferencji: "Analiza Decyzyjna, Systemy Eksperckie, Zastosowania Systemów Komputerowych", Warszawa, 25-27 maja 1994r.

Komitet Programowy Konferencji:

Andrzej Ameljańczyk, Zdzisław Bubnicki, Wiesław Grudzewski, Olgierd Hryniewicz, Janusz Kacprzyk, Lech Kruś, Roman Kulikowski (przewodniczący), Kazimierz Mańczak, Ireneusz Nykowski, Zdzisław Pawlak, Roman Słowiński, Andrzej Straszak, Andrzej Weryński, Andrzej Wierzbicki.

Wykonano z oryginałów tekstowych dostarczonych przez autorów

ISBN 83-85847-85-5

Modele jakościowe dla wnioskowania głębokiego

Wiesław Traczyk
Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej
Politechnika Warszawska

Streszczenie

Stosowane w systemach ekspertowych drugiej generacji wnioskowanie głębokie wymaga rozbudowanej bazy wiedzy, uwzględniającej wielopoziomowe związki przyczynowe. Wiedzy takiej może dostarczyć liczny zespół reguł albo odpowiedni model analizowanego obiektu czy procesu. Gdy niedostępny jest model dokładny (ilościowy) – jego rolę może, w pewnym zakresie, przejąć model jakościowy. Znane metody tworzenia takich modeli odwzorowują zazwyczaj operacje na liczbach rzeczywistych, co wprowadza ograniczenia i problemy obliczeniowe. W tej pracy proponuje się operacje na zmiennych lingwistycznych o uporządkowanych termach dowolnego typu, odwzorowywanych w liczby całkowite. Wprowadzone działania umożliwiają dowolne zwiększanie dokładności przekształceń jakościowych, tworzenie bilansowych równań jakościowych i uproszczonych zapisów reguł produkcji.

1 Rola wnioskowania głębokiego

Popularne systemy ekspertowe wykorzystują zazwyczaj reguły produkcji w których związki przyczynowe między lewą i prawą stroną reguły nie są bezpośrednie, gdyż im większy przeskok pojęciowy realizują reguły (z zachowaniem poprawności) tym krótsze ciągi reguł składają się na całkowity łańcuch wnioskowania – od pierwotnych przyczyn do ostatecznego celu. Jeśli liczba reguł i czas wnioskowania są istotnymi kryteriami jakości systemu – powinien on zawierać jak najwięcej reguł heurystycznych, pomijających ewentualne pośrednie ogniwa w łańcuchu przyczynowo-skutkowym. Zwykle jesteśmy gotowi zaakceptować reguły wiążące zmianę pogody z niskim lotem jaskółek lub odporność firanek na kurz – z ich praniem w słonej wodzie, bez wnikania w pośredniczącą rolę owadów i krystalizacji. Podobnie jest w przypadku innych reguł heurystycznych o ustalonej wiarygodności.

Wykorzystywanie do wnioskowania wiedzy heurystycznej ma jednak także istotne wady:

1. w złożonych systemach (np diagnostycznych) może wystąpić bardzo duża liczba wariantów wymagających analizy (np stanów systemu), a więc także duża liczba reguł i długi czas wnioskowania,

2. reguły heurystyczne są zazwyczaj wynikiem licznych doświadczeń potwierdzających konkluzję, ale liczne doświadczenia dotyczą przypadków pojawiających się najczęściej, co sprawia że przypadki rzadkie (ale niekiedy – bardzo istotne) mogą nie występować w dostępnej bazie wiedzy,

3. pomijanie w regułach heurystycznych pośrednich związków przyczynowych bardzo utrudnia tworzenie przejrzystych wyjaśnień (które są przecież uważane za ważną cechę systemów ekspertowych), oraz podważa wiarygodność reguł w oczach ludzi podejmujących bardzo odpowiedzialne decyzje z dziedziny medycyny, finansów, wojskowości itp,

4. brak ciągłości w łańcuchach przyczynowo-skutkowych utrudnia wykorzystanie znanych zależności pośrednich do innych celów i przesłania strukturę tych zależności.

Uniknąć niektórych z tych wad można przez zastosowanie wiedzy, opisującej zasady działania rozważanego systemu, obiektu lub procesu w sposób bardziej szczegółowy, bez przeskoków w uzależnieniach między parametrami, ze związkami przyczynowo-skutkowymi wynikającymi z udowodnionych praw fizycznych (fizjologicznych, organizacyjnych itp). Tak rozbudowana wiedza nazywana jest *wiedzą głęboką*, a wykorzystujące ją *wnioskowanie głębokie* jest istotną cechą *systemów ekspertowych drugiej generacji* [4].

Wiedza głęboka może być również reprezentowana za pomocą reguł produkcji, jednakże potrzeba ich wówczas jeszcze więcej niż w systemach heurystycznych. Pewne uproszczenia można uzyskać stosując ramy zamiast reguł, ale – zdaniem wielu autorów – najlepszym sposobem reprezentacji wiedzy głębokiej jest *model* analizowanego systemu, podający zależności funkcyjne między wszystkimi jego parametrami (zmiennymi stanu, atrybutami), istotnymi na danym poziomie rozważań. Model winien opisywać zasady działania systemu istotne dla rozwiązania postawionych zadań, może zawierać zmienne niedostępne dla obserwatora, nie musi natomiast odpowiadać wprost na wszystkie możliwe pytania o jego zachowaniu; potrzebnych odpowiedzi na takie pytania dostarczą procedury wnioskowania. Na przykład: jedno równanie z trzema zmiennymi zawiera informacje o uzależnieniu każdej ze zmiennych od dwu pozostałych, zastępuje więc trzy typowe reguły produkcji, przy czym odpowiednie uzależnienie można wygenerować dopiero wówczas gdy jest ono rzeczywiście potrzebne. Powstaje więc problem zbudowania modelu analizowanego systemu.

Zalety modeli matematycznych systemów w procesie ich projektowania, sterowania, diagnozowania itp są powszechnie znane, ale korzyści z klasycznych modeli matematycznych silnie zależą od dokładności tych modeli; zły model może przynieść więcej szkody niż pożytku. W bardzo wielu dziedzinach zbudowanie dokładnego modelu okazuje się jednak nazbyt trudne lub niemożliwe; wynikać to może ze słabej znajomości lub wielkiej złożoności uzależnień (np w medycynie), trudności z określeniem wartości potrzebnych współczynników lub parametrów (np w gospodarce) itp. Inżynieria wiedzy zajmuje się głównie systemami słabo sprecyzowanymi, więc dla potrzeb wnioskowania głębokiego potrzebne są modele mniej dokładne (lecz użyteczne), zastępujące zależności ilościowe – związkami jakościowymi, czyli – *modele jakościowe*. Przydatność uproszczonych, jakościowych zasad działania systemów łatwo można zaobserwować w codziennej praktyce – dobry mechanik samochodowy potrafi właściwie wskazać nawet zupełnie nieznany wcześniej defekt silnika bez rozwiązywania równań termodynamiki, lecz na podstawie znajomości (jakościowych wprawdzie, ale dokładnych i pełnych) zasad działania tego mechanizmu. Nie widać powodu by w podobny sposób nie mógł rozumować – na podstawie modelu jakościowego – komputer.

Można spodziewać się, że zastosowanie modelu jakościowego do wnioskowania głębokiego będzie miało kilka innych, pożytecznych cech:

- oddzielenie struktury od funkcji – gdyż składniki modelu mogą dotyczyć składników analizowanego systemu i mogą być wykorzystywane w różnych celach i w różnorodnych konfiguracjach,
- podkreślenie związków przyczynowych – wynikających z odpowiednio sformułowanych równań modelu,
- szersze zastosowanie nienumerycznych reprezentacji związanych z opisami jakościowymi, nadających tym opisom bardziej ogólny charakter.

Z powyższych rozważań wynikają dwa wnioski:

1. bardzo dobre właściwości systemu ekspertowego można uzyskać przez połączenie wnioskowania heurystycznego z wnioskowaniem głębokim,
2. bardzo pożyteczny dla wnioskowania głębokiego jest jakościowy model analizowanego systemu.

2 Operacje na zmiennych jakościowych

Od kilku lat trwają intensywne prace nad tzw *fizyką jakościową* [1,2], usiłującą opisać procesy fizyczne (i inne – podobne) w uproszczony – jakościowy – sposób, zachowujący jednak najistotniejsze cechy dokładnego opisu analitycznego.

Większość z bardzo dużej już liczby metod i przyczynków poszukuje odwzorowania zbioru liczb rzeczywistych $\mathcal{R}$ w zbiór symboli jakościowych Q, tzn

$[\,] : \mathcal{R} \to Q$, i, wprowadziwszy na zbiorze Q działania odpowiadające typowym działaniom na liczbach rzeczywistych, przenosi formuły modelu matematycznego z jednej dziedziny w drugą (lub buduje je wg nowych zasad). Jeśli zbiór Q jest znacznie mniejszy od zbioru $\mathcal{R}$ to wersja jakościowa jest znacznie prostsza od ilościowej, a jeśli odwzorowanie $\mathcal{R}$ w Q uwzględnia najistotniejsze (w danym zadaniu) podziały w $\mathcal{R}$ – to opis jakościowy może zawierać najważniejsze informacje przeniesione z opisu ilościowego. Pierwszy z tych warunków realizuje się łatwo lecz z drugim są istotne problemy.

Najprostsza wersja zbioru Q uwzględnia jedynie podział liczb rzeczywistych na liczby ujemne, dodatnie i zero:

$$Q = \{U,\, 0,\, D\} = \{-, 0, +\}$$

więc odwzorowanie $[\,]$ ma postać: $\{(-\infty, 0), [0, 0], (0, +\infty)\} \to \{-, 0, +\}$ i $[x] \in \{-, 0, +\}$.

Na symbolach jakościowych z Q określa się (za pomocą odpowiednich tablic) operacje, odpowiadające podstawowym działaniom na liczbach rzeczywistych:

$$\{-, +, \times, /\} \to \{\ominus, \oplus, \otimes, \oslash\}$$

więc np $[x + y] = [x] \oplus [y]$. Powstały w ten sposób system algebraiczny nazywany bywa *algebrą znaków*.

Pewne kłopoty sprawia dodawanie liczb o różnych znakach i odejmowanie liczb o znakach jednakowych gdyż np wynik działania $+ \ominus +$ może mieć każdą wartość ze zbioru Q. Z tego powodu częściej stosuje się zbiór $Q' = \{-, 0, +, ?\}$ określony odwzorowaniem $\{(-\infty, 0), [0, 0], (0, +\infty), (+\infty, -\infty)\} \to \{-, 0, +, ?\}$. Symbol "?" odpowiada wartości nieokreślonej.

W wielu przypadkach podział liczb rzeczywistych na ujemne, dodatnie i zero jest za mało precyzyjny dla opisania istotnych właściwości zadania, podejmowane są więc próby podziałów bardziej szczegółowych.

Jedna z możliwości równolegle z podziałem jak w zbiorze Q (tzn U, 0, D) wprowadza dodatkowy podział na liczby duże (D), średnie (S) i małe (M):

$$Q" = \{UD, US, UM, 0, DM, DS, DD\}$$

ale rozbudowuje to znacznie tablice operatorów i zwiększa zakres nieokreśloności.

Inna grupa metod, znanych pod nazwą *algebry rzędu wielkości* [5], wydziela podzbiory albo relacje, upraszczające niektóre działania; np jeśli BM oznacza liczby bardzo małe, a BD – liczby bardzo duże, to (niezależnie od znaków) $BD \oplus BM = BD$, $BD \ominus BM = BD$ itp.

Dla przypadków gdy wstępne informacje mają charakter mieszany, ilościowo-jakościowy, opracowano odpowiednie metody hybrydowe [7], wykorzystujące zalety obu reprezentacji.

Jakościowe opisywanie systemów dynamicznych staje się możliwe po wprowadzeniu jakościowego odpowiednika pochodnej: $[\frac{dx}{dt}] = \partial x$, i budowanych z jej pomocą jakościowych równań różniczkowych (ang. *confluences*). Zazwyczaj ∂x przyjmuje wartości ze zbioru Q, co umożliwia opisywanie przebiegów rosnących, malejących lub niezmiennych w czasie.

Na przedstawionych zasadach oparto większość podejść, ale liczba metod stosowanych w rachunkach jakościowych jest bardzo duża; podstawowe prace zebrano w [6], a obszerną literaturę i jej opis zawarto w [3]. Mimo znacznych nakładów pracy i dużych nadziei wiązanych z modelowaniem jakościowym – znane metody nadają się jedynie do wybranych zadań, o niezbyt dużych wymaganiach stawianych wynikom. Główne ograniczenia związane są ze zbyt małą precyzją, dużym obszarem nieokreśloności i problemami obliczeniowymi. W tej sytuacji bardzo pożyteczne mogą być wszelkie próby złagodzenia istniejących mankamentów.

3 Operacje jakościowe na zmiennych lingwistycznych

U podstaw proponowanego tu podejścia do modelowania jakościowego leżą dwa spostrzeżenia:

- w praktycznych przypadkach reprezentacji wiedzy dosyć rzadko występuje konieczność wykorzystywania całego zakresu liczb rzeczywistych; zazwyczaj interesujący nas zakres zmienności występujących zmiennych, czyli *uniwersum*, jest celowo ograniczany do podzbioru liczb rzeczywistych (np wiek ludzi – do przedziału [0, 150], temperatura ciała – [35, 41]) lub w ogóle nie odwołuje się do liczb, poprzestając na określeniach symbolicznych (np zdolności – małe, przeciętne, duże),

- wartość zerowa, zawsze wyodrębniana w algebrach jakościowych, raczej rzadko jest centralną wartością przedziału zmienności, zasługującą na wyróżnienie; bardziej pożyteczne wydaje się wydzielenie wartości średniej, przeciętnej czy najpopularniejszej, gdyż odchylenia od tej właśnie wartości są najbardziej interesujące w procesach konsultacyjnych, diagnostycznych itp.

W wykorzystaniu tych spostrzeżeń bardzo pomocne są pojęcia zmiennej lingwistycznej i operacji na zmiennych lingwistycznych.

Zmienna lingwistyczna a to nazwa, reprezentująca trzy składniki: $(V, U, \phi)_a$.

Składnik V jest uporządkowanym zbiorem symbolicznych (jakościowych) wartości zmiennej, zwanych *termami*:

$$V(a) = \langle v_{-n}, v_{-n+1}, \ldots, v_{-1}, v_0, v_1, \ldots, v_n \rangle$$

Wartość v_0 to term neutralny (wartość przeciętna, średnia, itp), a symetria nie jest obowiązkowa. Liczba termów to *rozmiar* zmiennej (przy wprowadzonych oznaczeniach wynosi on $2n + 1$).

Składnik U to *uniwersum* – podzbiór zbioru liczb rzeczywistych ($U \subset \mathcal{R}$) będący przedziałem zmienności liczbowej postaci zmiennej a; jeśli zmienna lingwistyczna nie odwołuje się do liczb to $U = \emptyset$.

Składnik ϕ, określony tylko przy $U \neq \emptyset$, wiąże termy z uniwersum; może to być odwzorowanie ostre ($\phi : V \to 2^U$), rozmyte, probabilistyczne itp.

W innej terminologii można powiedzieć, że atrybut a przyjmuje wartości ze zbioru $V(a)$. Przykłady podaje następująca tablica:

	v_{-1}	v_0	v_1
V(organizacja)	ZŁA	PRZECIĘTNA	DOBRA
V(zarobki)	NISKIE	PRZECIĘTNE	WYSOKIE
V(wysiłek)	MAŁY	ŚREDNI	DUŻY

Dla wyjaśnienia wprowadzanych zależności odwołamy się do znanej reprezentacji regułowej. W rozwiniętej (słownej) postaci reguł produkcji nazwy zmiennych lingwistycznych (atrybutów) wiąże się z ich wartościami z pomocą słów JEST, SĄ itp; więc typowa reguła ma postać:

JEŚLI ORGANIZACJA JEST DOBRA TO ZAROBKI SĄ WYSOKIE

W równoważnych, symbolicznych zapisach formalnych pisze się często $a = v$ (co jest odpowiednikiem ilościowego zapisu $x = 5$), więc prosta reguła to

$$(a = v_i) \Rightarrow (a' = v'_j)$$

Normalnie – dla przetransformowania w ten sposób wartości zmiennej a w wartości zmiennej a' trzeba zastosować tyle reguł ile różnych wartości ma a. Gdyby jednak można było uzależnić funkcyjnie wartość v'_j w tym wyrażeniu od wartości v_i, to jeden taki zapis mógłby określać całą grupę zależności, dla różnych wartości zmiennych. Zadanie sprowadza się więc do znalezienia takiej funkcji f, że $f(v_i, a') = v'_j$ (argument a' jest potrzebny, by wiadomo było w jaki zbiór wartości transformować wartości v).

Rozważmy dwie zmienne lingwistyczne a i a', o symetrycznych termach

$$\begin{aligned} V(a) &= \langle v_{-n}, \ldots, v_{-1}, v_0, v_1, \ldots, v_n \rangle \\ V(a') &= \langle v'_{-m}, \ldots, v'_{-1}, v'_0, v'_1, \ldots, v'_m \rangle \end{aligned}$$

Jeśli $m = n$ i funkcja f i-tej wartości v przyporządkowuje i-tą wartość v', to opiszemy ją *odwzorowaniem prostym* $f(v, a')$ o postaci:

$$v_i /' = v'_i$$

oznaczającej prostą transformację wartości a w wartości a'.

Na przykład wykorzystująca termy z podanej wyżej tabeli reguła

JEŚLI ORGANIZACJA JEST x TO ZAROBKI SĄ *xżarobki*.

wiąże wszystkie jakościowe wartości organizacji z zarobkami i zastępuje trzy klasyczne, potrzebne do tego reguły.

Jeśli $m = n$ i transformacja odwraca kolejność przypisywanych sobie termów, to zastosowanie ma *odwzorowanie odwrotne (przeciwieństwo)*

$$\ominus v_i/' = \begin{cases} v'_{-i} & gdy\ i \neq 0 \\ v'_0 & gdy\ i = 0 \end{cases}$$

Ilustruje to przykład:

JEŚLI ORGANIZACJA JEST x TO WYSIŁEK JEST $\ominus$ *x/wysiłek*

Dotychczasowe rozważania dotyczyły powiązania zmiennych o jednakowym rozmiarze. Gdy $m < n$ – trzeba wprowadzić modyfikacje odwzorowania, określające sposób postępowania z wartościami a których indeks i przekracza dozwolone wartości indeksu j (dla wartości a'). Istnieje kilka uzasadnionych metod ograniczenia transformacji; będziemy je tu wyróżniali zróżnicowaną formą nawiasów.

Ograniczenie z *nasyceniem* zakłada pozostawanie na ostatniej, największej wartości a' gdy nadmiernie wzrośnie wartość a (ściślej – bezwzględna wartość indeksu):

$$(v_i)a' = \begin{cases} v'_i & gdy\quad i \leq |m| \\ v'_{-n} & \quad i < -m \\ v'_n & \quad i > m \end{cases}$$

Jeśli, na przykład, rozmiar zmiennej *cena* (akcji) wynosi 5, a rozmiar zmiennej *czynność* (maklera) wynosi 3, to odwzorowanie z nasyceniem może być opisane tabelą:

V(cena)	B-NISKA	NISKA	USTALONA	WYSOKA	B-WYSOKA
(V(cena))czynność	KUP	KUP	TRZYMAJ	SPRZEDAJ	SPRZEDAJ

lub regułą:

JEŚLI CENA JEST x TO CZYNNOŚĆ JEST *(x)czynność*

Inną formą ograniczenia może być odwzorowanie, dopuszczające istnienie maksimum lub minimum w zależności $f(v, a')$ od v. Takie ograniczenie z *ekstremum*, występującym przy $i = k$, opisuje zależność:

$$|v_i|_k/' = \begin{cases} v'_i & gdy\quad |i| \leq k \\ v'_{-2k-i} & \quad i < -k \\ v'_{2k-i} & \quad i > k \end{cases}$$

Na przykład – gdy rozmiar zmiennej *czas* (jedzenia) wynosi 4, natomiast rozmiar zmiennej *apetyt* (w czasie jedzenia) wynosi 3, to zależność apetytu od czasu można (wbrew przysłowiu) wyrazić tabelą:

$V(czas)$	KRÓTKI	ŚREDNI	DŁUGI	B-DŁUGI
$\vert V(czas)\vert_1 a_{petyt}$	MAŁY	ŚREDNI	DUŻY	ŚREDNI

oraz regułą:

JEŚLI CZAS JEST x TO APETYT JEST $|x|_1 a_{petyt}$

Zdefiniujemy dwa działania dwuargumentowe na zmiennych lingwistycznych a i a', dające w wyniku zmienną a'':
dodawanie

$$(v_i \oplus v'_j)a'' = v''_{i+j}$$

i *odejmowanie*

$$(v_i \ominus v'_j)a'' = v''_{i-j}$$

Operacje na dwóch zmiennych o rozmiarach N i M dają wynik o rozmiarze N × M, i dlatego zwykle wymagają ograniczania rozmiaru wyniku. Obok ograniczenia z nasyceniem (zastosowanego w powyższym zapisie) i z ekstremum, możliwe w tym przypadku jest jeszcze ograniczenie przez *grupowanie*. Polega ono na uznaniu za równoważne takich par wartości $\langle v, v' \rangle$ które mają jednakową sumę indeksów. Przykładem może być równoważność (z punktu widzenia pracodawcy) par ⟨BARDZO-ZDOLNY, ŚREDNIO-PRACOWITY⟩ i ⟨ŚREDNIO-ZDOLNY, BARDZO-PRACOWITY⟩.

Ograniczenie przez grupowanie będzie wyróżniane nawiasami kwadratowymi:

$$[v_i \oplus v'_j]a'' = v''_{i+j}$$

$$[v_i \ominus v'_j]a'' = v''_{i-j}$$

Jeśli więc

$$V(pracowity) = V(zdolny) = \langle \text{MAŁO, ŚREDNIO, BARDZO} \rangle$$
$$V(przydatny) = \langle \text{WCALE, NIEZBYT, PRZECIĘTNIE, BARDZO, WYBITNIE} \rangle$$

to regułę przydatności do pracy można zapisać w formie

$$(pracowity = x) \land (zdolny = y) \Rightarrow (przydatny = [x \oplus y]/przydatny)$$

Przyjęcie warunków grupowania w istotny sposób zmniejsza rozmiar wyniku działań po ograniczeniu (z M × N do L, przy L < M × N), np z 3 × 3 do 5, z 3 × 5 do 7, z 5 × 5 do 9 itd.

Przydatne są również dwa działania, wiążące zmienną lingwistyczną ze stałą liczbową (liczbą całkowitą) K.

Operacja

$$K \oplus v_i = v_{i+K}$$

umożliwia przesuwanie neutralnego termu o K pozycji, a więc rezygnację z symetrii ciągu termów, przy zachowaniu znaczenia pozostałych działań. Przyjmiemy że zerowy indeks ma term środkowy (przy rozmiarze nieparzystym) lub zbliżony do środka lewy (przy rozmiarze parzystym). Wszelkie potrzebne przesunięcia indeksów będą realizowane za pomocą dodawania stałej.

Operacja

$$K \otimes v_i = v_{i \times K}$$

oznacza wzmacnianie zmiennej o K, gdyż w działaniach na indeksach jej rola ulegnie odpowiedniemu zwiększeniu (przy $K > 1$) w stosunku do innych zmiennych powiązanych formułą. Ma to szczególne znaczenie w opisach o postaci równości.

Działania dwuargumentowe można rozszerzyć na wieloargumentowe, na zasadach zbliżonych do obowiązujących w tradycyjnej algebrze.

Podawane tu przykłady reguł z zastosowaniem operacji jakościowych pokazują bardzo ważną zaletę tych działań, polegającą na radykalnym zmniejszeniu liczby potrzebnych reguł, przy stosunkowo prostych działaniach dodatkowych i łatwych (często) do spełnienia ograniczeniach.

Nowe operacje na zmiennych przedstawia się zwykle albo w postaci tabeli (jak w tabliczce mnożenia lub tabelkach algebry znaków), albo w postaci formuły, zawierającej działania zdefiniowane wcześniej. W podanych wyżej określeniach operacji stosowaliśmy tę drugą metodę, ilustrującą możliwość wyliczania wartości działań w sposób stosunkowo prosty i niezależny od rozmiaru zmiennych. Należy jednak podkreślić, że zdefiniowane operacje dotyczą zmiennych lingwistycznych i mogą służyć do budowania formuł o postaci

$$(K_1 \odot a_1) \odot (K_2 \odot a_2) \odot \ldots \odot (K_l \odot a_l)$$

albo równań:

$$K_w \odot a_w = (K_1 \odot a_1) \odot (K_2 \odot a_2) \odot \ldots \odot (K_l \odot a_l)$$

w których symbol $\odot$ oznacza jakiekolwiek działania spośród opisanych wyżej. W razie potrzeby – formuły rozszerza się o symbole ograniczeń, a równość oznacza że łączny wyliczony indeks prawej strony jest równy indeksowi strony lewej. W równaniach zakłada się więc spełnienie warunków dla ograniczeń z grupowaniem. W przypadku zastąpieniu równości inną relacją – przenosi się ją na indeksy.

Przy odpowiednim doborze termów można napisać

$$\textit{droga} = \textit{prędkość} \oplus \textit{czas}$$

gdyż średnia prędkość i długi czas dają długą drogę itp.

Zbiór działań na zmiennych lingwistycznych można powiększyć, zachowując podstawową zasadę operowania na indeksach termów.

4 Modele jakościowe

Wprowadzone wyżej operacje mogą być wykorzystane do tworzenia statycznego *modelu jakościowego* różnorodnych systemów, przydatnego np w diagnostyce wspomaganej systemem eksperckim. Model zawiera zestaw równań, nierówności lub implikacji z licznymi zmiennymi lingwistycznymi, które można podzielić na trzy grupy:
– zmienne o znanych (w danej ekspertyzie) wartościach,
– zmienne których wartości można ustalić w procesie pytanie–odpowiedź i
– pozostałe zmienne, których wartości można wyznaczyć lub wywnioskować z równań lub implikacji, i które są wynikiem ekspertyzy.

Przynależność zmiennej do odpowiedniej grupy może się zmieniać, co stanowi o ważnej elastyczności wnioskowania na podstawie modelu.

Operacje na zmiennych lingwistycznych ułatwiają strukturalizację jakościowego modelu systemu gdyż umożliwiają tworzenie opisów na różnych poziomach złożoności systemu i dla różnych jego składników, ze stopniowym zwiększaniem stopnia szczegółowości. W istniejącym modelu można wykorzystywać poziom szczegółowości właściwy dla danego zadania.

Zasady zastosowania przedstawionego tu podejścia do modelowania systemów dynamicznych są opracowywane.

Przykładem modelu jakościowego, uproszczonym lecz wyjaśniającym podstawowe zasady budowania takich modeli, niech będzie system chłodzenia w samochodzie.

Pierwsze równanie winno określać zasady zmian temperatury silnika i może mieć postać

temp-nowa $=$ *temp-poprzednia* $\oplus$ *przyrost*

przy założeniu, że

przyrost $=$ *grzanie* $\ominus$ *chłodzenie.*

We wstępnych etapach budowania modelu wygodnie jest pominąć szczegóły związane z wyborem termów i zasad ograniczania rozmiarów, ale przechodząc do niższego poziomu musimy te szczegóły określić.

Dla uwzględnienia tego, że źródłem grzania może być praca silnika, tarcie mechanizmów i opory toczenia, przyjmiemy:

$V(silnik) = \langle$ NIE-PRACUJE, PRACUJE $\rangle$

$V(tarcie) = V(opory - toczenia) = \langle$ BRAK, MAŁE, DUŻE $\rangle$

Aby podkreślić wkład silnika w proces grzania zmienimy jego indeksy z (0, 1) na (0, 3), a także przesuniemy term neutralny tarcia i oporów toczenia zgodnie z wartościami – czyli z (-1, 0, 1) na (0, 1, 2). Równanie dla grzania będzie więc miało postać

grzanie $=$ *(3* $\otimes$ *silnik)* $\oplus$ *(1* $\oplus$ *tarcie)* $\oplus$ *(1* $\oplus$ *opory-toczenia).*

Na podobnej zasadzie – dla chłodzenia uwzględnimy wpływ chłodnicy, wentylatora i nawiewu, przyjmując

$V(chłodnica) = V(wentylator) = V(nawiew) =$

$= \langle$ BRAK-CHŁODZENIA, MAŁE, DUŻE $\rangle$

Tu również wpływ chłodnicy zasługuje na wzmocnienie, a wszystkie indeksy wymagają przesunięcia, więc

$chłodzenie = (2 \otimes (1 \oplus chłodnica)) \oplus (1 \oplus wentylator) \oplus (1 \oplus nawiew).$

Bez uwzględnienia ograniczeń *grzanie* winno mieć rozmiar 7 (suma maksymalnych indeksów), *chłodzenie* – rozmiar 8 (co zapewnia jego skuteczność), i *przyrost* – rozmiar 8. Wydaje się uzasadnione zmniejszenie rozmiaru przyrostu do liczby stopni możliwych ingerencji, przy czym ograniczenie z nasyceniem będzie tu rozwiązaniem najwłaściwszym, jak zawsze gdy w grę wchodzi regulacja automatyczna.

W dalszych etapach opisywania systemu chłodzenia należy, za pomocą odpowiednich równań, uzależnić efekt działania chłodnicy od termostatu, termostat i wentylator – od temperatury itd. Powstanie w ten sposób model jakościowy prezentujący wiedzę o różnej głębokości.

Jeśli poszukuje się przyczyn nadmiernego wzrostu temperatury, to – podstawiając znane wartości za niektóre zmienne – można uzyskać nazwy zmiennych (powodów), a niekiedy nawet ich jakościowe wartości. Każda zmienna może być opisana zespołem innych, bardziej szczegółowych zmiennych, tworząc łańcuch przyczynowy.

Literatura

[1] *Artificial Intelligence.* Special Valume on Qualitative Physics, vol.24, 1984.

[2] *Artificial Intelligence.* Special Valume on Qualitative Physics, vol.51, 1991.

[3] E.Gatnar: *Metody modelowania jakościowego*, Akad. Ofi. Wyd. PLJ, 1994.

[4] C.J.Price, M.H.Lee: Why Do Expert Systems Need Deep Knowledge? *12-th World Congres on Scientific Computation*, Paris, 1988.

[5] O.Raiman: Order of Magnitude Reasonining. *Arti. Intel.*, vol.51, 1991.

[6] D.G.Schwartz: Outline of a Naive Semantics for Reasoning with Qualitative Linguistic Information. *11-th Intrn. Conf. on Arti. Intel.*, Detroit, 1989.

[7] D.S.Weld, J. de Kleer (ed): *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, Morgan Kaufmann Publ., 1990.

[8] B.C.Williams: MINIMA – a Symbolic Approach to Qualitative Algebraic Reasoning. *7-th Nat. Conf. on Arti. Intel.*, Saint Paul, 1988.

ISBN 83-85847-85-5

W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy
prosimy o kontakt

z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 36-19-01 w. 241 e-mail: kotuszew@ibspan.waw.pl