

dr inż. Paweł Sitek, dr inż. Jarosław Wikarek
Katedra Systemów Sterowania i Zarządzania, Politechnika Świętokrzyska

ZASTOSOWANIE ŚRODOWISK DEKLARATYWNYCH DO WSPOMAGANIA DECYZJI DLA PROBLEMÓW TRANSPORTOWYCH

W artykule przedstawiono podstawowe założenia systemu wspomaganie decyzji opartego na środowiskach deklaratywnych. Środowiska deklaratywne w odróżnieniu od imperatywnych nie są tak rozpowszechnione. Umożliwiają bardziej elastyczne kształtowanie modeli decyzyjnych, nie wymagają budowy indywidualnych algorytmów, są niewrażliwe na zmiany danych liczbowych, które mogą być pobierane za pomocą języka zapytań do bazy danych. Ilustracją prezentowanej koncepcji jest przedstawianie rozwiązania wieloetapowego zagadnienia transportowego.

DECLARATIVE APPROACH TO DECISION SUPPORT FOR TRANSPORTATION PROBLEMS

The article presents the basic assumptions of the decision support system based on declarative environments. Declarative environments in contrast to the imperative ones are not as widespread. Allow more elastic shaping decision-making models, do not require the construction of the individual algorithms are insensitive to changes in the figures-which may be wound sampling using query language into the database. An illustration of the presented concept the solution of the multistage transportation problem has been presented.

1. WPROWADZENIE

Większość informatycznych systemów zarządzania oparta jest najczęściej na zintegrowanej bazie danych. Zwykle jest to baza danych wykorzystująca model relacyjny [1]. Model relacyjny to najbardziej rozpowszechniony model organizacji danych bazujący na matematycznej teorii mnogości, w szczególności na pojęciu relacji. W najprostszym ujęciu w modelu relacyjnym dane grupowane są w relacje, które reprezentowane są przez tabele. Relacje są pewnym zbiorem rekordów o identycznej strukturze wewnętrznie powiązanych za pomocą związków zachodzących pomiędzy danymi. Model relacyjny można traktować również jako mode-

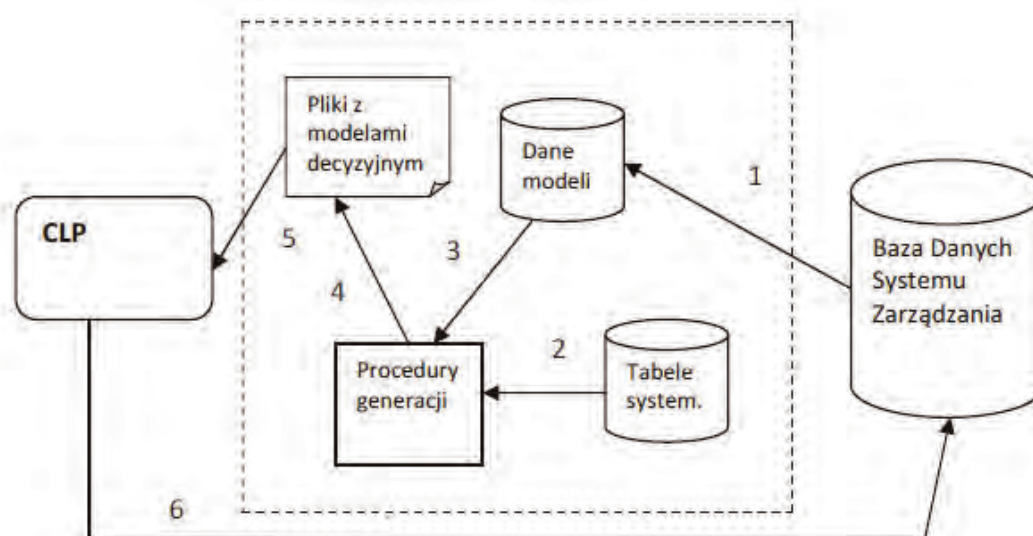
lu logiki pierwszego rzędu. Językiem związanym z tym modelem jest SQL (*Structured Query Language*) – strukturalny język zapytań używany do tworzenia, modyfikowania baz danych oraz do umieszczania i pobierania danych z baz danych. Język SQL jest językiem deklaratywnym. Decyzję o sposobie przechowywania i pobrania danych pozostawia się systemowi zarządzania bazą danych (DBMS).

Jeśli chodzi o paradygmat deklaratywności, to oprócz języka SQL opierają się na nim języki wywodzące się z Prologu. Znaczącym rozszerzeniem tego paradygmatu, które ma wiele zastosowań praktycznych to programowanie w logice z ograniczeniami i CLP (*Constraint Logic Programming*) [2, 3]. Tak naprawdę środowisko CLP to połączenie dwóch paradygmatów programowania, programowania w logice i programowania z ograniczeniami. Programowanie w logice, w odróżnieniu od języków imperatywnych, gdzie występuje algorytm, sekwencja

instrukcji do wykonania, polega na podaniu zbioru zależności, na podstawie których system dedukcyjny próbuje udowodnić dane twierdzenie. Natomiast programowanie z ograniczeniami polega na podaniu ograniczeń, które określają właściwości szukanego rozwiązania. Ograniczenia wyrażają relacje pomiędzy zmiennymi, a w konsekwencji domenami zmiennych.

2. ZAŁOŻENIA SYSTEMU

Powszechność modelu relacyjnego baz danych jako podstawy większości informatycznych systemów zarządzania spowodowała, że system wspomaganie decyzji zaproponowano jako dodatkową warstwę informacyjną systemu zarządzania, której głównymi komponentami są tabele o określonej strukturze oraz inne mechanizmy relacyjnej bazy danych. Zaproponowana struktura systemu – wprowadzenie tabel z danymi i modelami oraz tabel systemowych – umożliwia automatyzację generacji modeli wspomaganie decyzji, jak również optymalizację decyzji na podstawie zapisów w bazie danych, ich uruchomienie poprzez wywołanie odpowiednich programów optymalizacyjnych, a następnie zapisanie w bazie danych uzyskanych wyników w odpowiedniej formie. Efektywność środowiska CLP oraz jego deklaratywny charakter podobny do języka SQL umożliwiają podejmowanie decyzji nawet przy zmianie danych liczbowych w systemach macierzystych – np. ERP [4]. Ogólny schemat struktury systemu wspomaganie decyzji w postaci dodatkowej warstwy informacyjnego systemu zarządzania przedstawiono na rys. 1 (zaznaczono linią przerywaną).



Rys. 1. Uproszczony schemat struktury systemu wspomaganie decyzji w oparciu o środowiska deklaratywne. System wspomaganie decyzji w postaci dodatkowej warstwy informacyjnej działa w następujący sposób/w następującej sekwencji:

1. Wykonywane jest mapowanie-uzupełnianie struktur danych modeli decyzyjnych na podstawie bazy danych informatycznego systemu zarządzania np. klasy ERP.
2. Zacytowanie informacji o strukturze i funkcjach dla modeli decyzyjnych z tabel systemowych.
3. Zacytowanie danych dla modeli decyzyjnych.
4. Generacja modeli w postaci plików tekstowych w odpowiedniej formie (metajęzyku programu optymalizacyjnego).

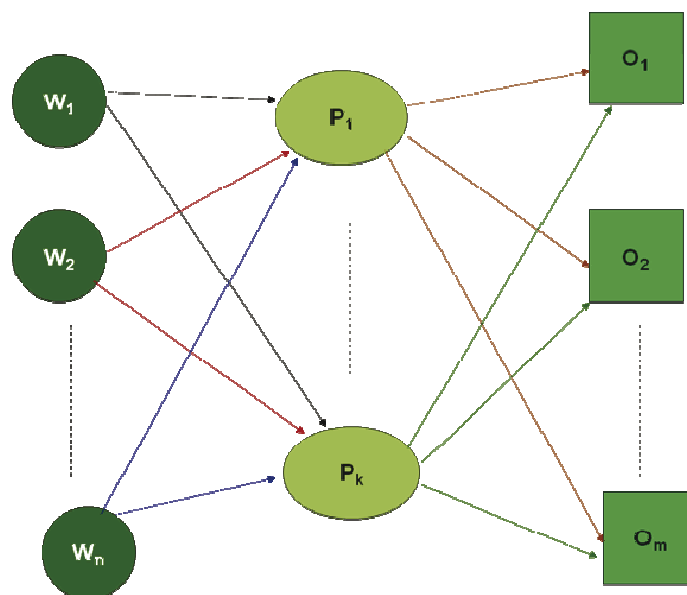
5. Przesłanie plików z modelami do programu optymalizacyjnego.
6. Zapis uzyskanych wyników (decyzji do bazy danych).

2. WIELOETAPOWE ZAGADNIENIE TRANSPORTOWE

Jako potencjalny obszar zastosowań prezentowanej koncepcji wspomaganie decyzji można uznać produkcję, logistikę, dystrybucję towarów. W systemie mogą być implementowane autorskie lub znane z literatury modele decyzyjne. Funkcjonalność i możliwości praktyczne systemu wspomaganie decyzji zostaną przedstawione na przykładzie problemów transportowych.

Proces transportowy dotyczy najczęściej przemieszczania ładunków z miejsc ich wytworzenia (nadania) do miejsc dostawy (odbioru). W miastach takim procesem jest na przykład dostawa towarów z hurtowni lub zakładów produkcyjnych do sieci sklepów, a w przemyśle dostawa materiałów, półproduktów i elementów pomiędzy zakładami produkcyjnymi. Proces ten jest realizowany przez ustalony system transportowy przy użyciu wybranych typów środków transportowych, jak na przykład samochodów, wagonów kolejowych, samolotów itp. Przy realizacji procesu transportowego przez ustalony system transportowy pojawia się szereg zagadnień decyzyjnych, których efektywne rozwiązanie ma istotny wpływ na zarządzanie całym łańcuchem dostaw. Problemy transportowe dzielimy na:

- **Klasyczne zagadnienie transportowe (KZT)**, w którym szuka się sposobu możliwie jak najtańszego rozwiązania towaru od dostawców do odbiorców (np. towarów masowych, cementu, rur itp.).
- **Wieloetapowe zagadnienie transportowe (WZT)**, w którym oprócz dostawców i odbiorców istnieją jeszcze punkty pośrednie np. centra dystrybucyjne (rys. 2), gdzie zbiór $W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$ określa dostawców/wytwórców, zbiór $O = \{O_1, O_2, \dots, O_m\}$ odbiorców, natomiast zbiór $P = \{P_1, \dots, P_k\}$ pośredników, np. hurtownie, centra dystrybucyjne, magazyny logistyczne.



Rys. 2. Przykładowy schemat dostaw z punktami pośrednimi (wieloetapowe zagadnienie transportowe)

Tabela 1. Indeksy, parametry i zmienne decyzyjne modelu optymalizacyjnego

Indeksy używane w modelu	
j	indeks miasta (punktu dostawy) (j=1..M)
i	indeks fabryki (i=1..N)
s	indeks punktu pośredniego (s=1..E)
N	liczba fabryk
M	liczba miast/punktów dostaw
E	liczba punktów pośrednich np. centra dystrybucyjne
Parametry modelu	
C_i	koszt wytworzenia produktu w fabryce i (i=1..N).
W_i	zdolności produkcyjne fabryki i (i=1..N).
Z_j	zapotrzebowanie miasta /punktu j (j=1..M)
A_{is}	koszt dostawy z fabryki i do punktu pośredniego s (i=1..N) (s=1..E)
G_{sj}	koszt dostawy z punktu pośredniego s miasta j (s=1..E) (j=1..M)
Zmienne decyzyjne	
X_{is}	wielkość dostawy z fabryki i do punktu pośredniego s
Y_{sj}	wielkość dostawy z punktu pośredniego s do sklepu j

Model matematyczny optymalizacji dla wieloetapowego zagadnienia transportowego został sformułowany w postaci problemu programowania liniowego z minimalizacją funkcji celu która przedstawia całkowity koszt transportu i wytwarzania przy ograniczeniach (1) ... (5). Szczegółową dyskusję modelu przedstawiono w [5].

Funkcja celu – minimalizacja kosztów transportu i wytwarzania

$$\sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^E A_{i,s} * X_{i,s} + \sum_{s=1}^E \sum_{j=1}^M G_{s,j} * Y_{s,j} + \sum_{i=1}^N (C_i * \sum_{s=1}^E X_{i,s})$$

Ograniczenia

$$\sum_{s=1}^E X_{i,s} \leq W_i \text{ dla } i = 1..N \quad (1)$$

$$\sum_{s=1}^E Y_{s,j} \geq Z_j \text{ dla } j = 1..M \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{i,s} = \sum_{j=1}^M Y_{s,j} \text{ dla } s = 1..E \quad (3)$$

$$X_{i,s} \geq 0 \text{ dla } i = 1..N \text{ oraz } s = 1..E \quad (4)$$

$$Y_{s,j} \geq 0 \text{ dla } s = 1..E \text{ oraz } j = 1..M \quad (5)$$

Po dokonaniu implementacji modelu (1) .. (5) przeprowadzono eksperymenty obliczeniowe dla danych widocznych w tab. 2. Przykłady P1 i P2 dotyczą produkcji i dystrybucji w ramach koncernu spożywczego. Koncern posiada trzy (P1) lub pięć (P2) zakładów produkcyjnych, dwa (P1) lub pięć (P2) centrów dystrybucyjnych (punkty pośrednie) i sześć sklepów firmowych (punktów dostaw). W procesie decyzyjnym należy zminimalizować koszty produkcji

oraz dostarczania do sklepów firmowych. Uzyskane wyniki pokazujące rozkład dostaw przedstawiono w tab. 3. Można dokonać analizy wykorzystania wybranych centrów dystrybucyjnych, celowości ich lokalizacji itp. Implementacja modelu decyzyjnego w postaci kodu systemu Eclipse przedstawiono na rys. 3. Jest to kod zgodny ze składnią systemu Eclipse wygenerowany automatycznie na podstawie odpowiednich wpisów w tabelach bazy danych przy użyciu procedur generacji modeli (rys. 1).

Tabela 2. Dane liczbowe dla wieloetapowego zagadnienia transportowego (wartości parametrów A,G,C,W,Z)

P1 (i) (s) A	1	2	C _i	W _i	P1 (j) (s) G	1	2	3	4	5	6
1	30	20	180	600	1	30	20	40	70	50	60
2	90	40	200	500	2	90	40	50	30	40	40
3	80	60	190	500	Z _j	200	150	100	100	150	200

P2 (i) (s) A	1	2	3	4	5	C _i	W _i	P2 (j) (s) G	1	2	3	4	5	6
1	30	20	30	40	30	180	600	1	30	20	40	70	50	60
2	90	40	40	50	40	200	500	2	90	40	50	30	40	40
3	80	60	70	70	50	190	500	3	20	50	60	60	90	60
4	50	20	40	40	30	150	600	4	30	30	50	70	60	60
5	70	40	60	50	50	210	500	5	90	40	50	30	40	40
								Z _j	300	250	300	220	150	200

Uzyskane wyniki przedstawiono w tab. 3.

Tabela 3. Wyniki obliczeń dla wieloetapowego zagadnienia transportowego

P1

i	s	X	s	j	Y
1	1	350	1	1	200
1	2	250	1	2	150
2	2	300	2	3	100
			2	4	100
			2	5	150
			2	6	200

P2

i	s	X	s	j	Y
1	1	520	1	2	250
1	3	80	1	3	270
2	3	220	2	3	30
4	2	600	2	4	220
			2	5	150
			2	6	200
			3	1	300

```

:- module(dane_1_p).
:- lib(fd).
:- lib(fd_global).
:- lib(edge_finder3).
:- lib(branch_and_bound).
:- export
opc.
dane(Z,C,W,X,Xt,Yt,Y,Razem):-
  Z = [4, 3, 2, 2, 3, 4], C = [180, 200, 190 ],
  W = [12, 10, 10],    A = [30, 20, 90, 40, 80, 60],
  G = [30, 20, 40, 70, 50, 60, 90, 40, 50, 30, 40, 40],
  X = [[X11,X12],[X21,X22],[X31,X32]],
  Xt=[[X11,X21,X31],[X12,X22,X32]],
  Y = [[Y11,Y12,Y13,Y14,Y15,Y16],[Y21,Y22,Y23,Y24,Y25,Y26]],
  Yt= [[Y11,Y21],[Y12,Y22],[Y13,Y23],[Y14,Y24],[Y15,Y25],
      [Y16,Y26]],
  flatten(Y,Ypo), flatten(X,Xpo),
  (foreach(X1,X), foreach(W1,W) do
    (foreach(X11,X1), param(W1) do X11 #>= 0, X11 #<= W1)),
  (foreach(Y1,Yt), foreach(Z1,Z) do
    (foreach(Y11,Y1), param(Z1) do Y11 #>= 0, Y11 #<= Z1)),
  (foreach(X1,Xpo),foreach(A1,A),foreach(Sx1,Sumx) do
    Sx1 #=X1 * A1),
  sumlist(Sumx,Razem1),
  (foreach(Y1,Ypo),foreach(G1,G),foreach(Sy1,Sumy) do
    Sy1 #=Y1 * G1),
  sumlist(Sumy,Razem2),
  (foreach(Xk1,X),foreach(C1,C),foreach(Sk1,Sumk) do
    sumlist(Xk1,Razs), Sk1 #=Razs * C1),
  sumlist(Sumk,Razem3),
  Razem #= Razem1+Razem2+Razem3.
og1(X,W):-
  (foreach(X1,X), foreach(W1,W) do
    sumlist(X1,X_sum), X_sum #<= W1).
og2(Yt,Z):-
  (foreach(Y1,Yt), foreach(Z1,Z) do sumlist(Y1,Z1)).
og3(Y,Xt):-
  (foreach(Y1,Y), foreach(X1,Xt) do
    sumlist(Y1,Ysum), sumlist(X1,Xsum),
    Ysum #= Xsum).
s1(L_L1,L_L2):-
  flatten(L_L1,L1), flatten(L_L2,L2),
  search(L2,0, most_constrained,indomain_min,complete,[]),
  search(L1,0, most_constrained,indomain_min,complete,[]).
opc:-
dane(Z,C,W,X,Xt,Yt,Y,Razem),
og1(X,W),
og2(Yt,Z),
og3(Y,Xt),
bb_min(s1(X,Yt),Razem, bb_options with [strategy: step]).

```

Rys. 3. Plik z modelem CLP (Eclipse)

3. WNIOSKI

Przedstawiona koncepcja systemu wspomagania decyzji w postaci dodatkowej warstwy informacyjnej informatycznego systemu zarządzania wydaje się być interesująca ze względu na swoją uniwersalność, jak również kompatybilna z systemami komercyjnymi (wykorzystanie mechanizmów i struktur relacyjnej bazy danych). Dodatkowo prezentowane rozwiązania charakteryzują się dużą elastycznością, umożliwiają bowiem automatyczną generację predykatów CLP na podstawie odpowiednich wpisów w tabelach bazy danych systemu. Zbudowany system wspomagania decyzji na podstawie przedstawionej koncepcji może być pomocny dla wszelkiego rodzaju zagadnień transportowych, logistycznych i dystrybucyjnych. Jego zakres zastosowania zależy jedynie od typów modeli decyzyjnych zapisanych w bazie danych oraz samych danych. Duża elastyczność środowisk deklaratywnych oraz zastosowanie modelu

relacyjnego warstwie danych umożliwia implementację dowolnych modeli z obszaru badań operacyjnych, sztucznej inteligencji itp. jako predykatów CLP. Zakres systemu wspomagania decyzji właściwie zależy od struktury tabel systemowych i danych oraz implementowanych modeli decyzyjnych. Dalsze prace będą miały na celu zwiększenie liczby modeli decyzyjnych w systemie oraz trójwarstwowy interfejs bazy danych.

BIBLIOGRAFIA

1. E. F. Codd. A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. „Commun. ACM”. 13/6, pp. 377–387
2. K. Apt, „Principles of constraint programming”, Cambridge University, 2003.
3. Frühwirth, Thom, Slim Abdennadher, „Essentials of constraint programming”, Springer, 2003.
4. Y.B. Moon, „Enterprise Resource Planning (ERP): a review of the literature”, Int. J. Management and Enterprise Development, Vol. 4, No. 3, pp. 235–264, 2007
5. H. Wagner, „Badania Operacyjne”, PWE, Warszawa, 1980.