

Zastosowanie logicznych algorytmów minimalizacyjnych do komputerowego wspomaganie wyznaczania rangi ważności parametrów w układach automatyki i sterowania

Marian A. Partyka, Agnieszka Tiszbierek

1. Wprowadzenie

Algorytm Quine'a-McCluskeya minimalizacji indywidualnych cząstkowych wielowartościowych funkcji logicznych [1] jest algorytmem stosowanym w procesie wyznaczania optymalnych układów parametrów i ich rangi ważności. Powszechnie stosowanie wynika z faktu przejrzystości działania algorytmu. Obecnie istnieje wiele urządzeń, których działanie – oparte na skomplikowanych układach automatyki i sterowania – zależy od odpowiedniego doboru wartości arytmetycznych parametrów i dlatego należy także wyznaczyć najważniejsze parametry konstrukcyjno-eksploatacyjne [2, 3, 4, 5].

2. Zasada działania algorytmu

Zasada działania algorytmu opiera się na znalezieniu tzw. implikantów pierwszych. Pierwszym etapem jest uporządkowanie zbiorów iloczynów kanonicznych funkcji tak, aby poszczególne grupy zawierały iloczyny o jednakowej sumie cyfr. W kolejnym etapie są łączone iloczyny różniące się tylko na jednej pozycji przy założeniu wyczerpania wielowartościowości danej zmiennej. Wtedy na tej pozycji wpisuje się znak „–”, oznaczający obojętność. Kontynuując procedurę łączenia, należy usunąć powtarzające się kombinacje. Działanie algorytmu należy zakończyć, gdy nie ma możliwości dokonania dalszych łączeń. Każdą kombinację, która nie podlega dalszemu łączeniu, nazywa się implikantem pierwszym. Kolejnym etapem jest utworzenie tabeli, w której wiersze odpowiadają otrzymanym implikantom pierwszym, a kolumny wszystkim prawdziwym iloczynom kanonicznym. Następnie można rozpatrywać tabelę implikantów pierwszych albo postać decyzyjną typu suma iloczynów sum iloczynów ... sum iloczynów, aż do wyczerpania wszystkich zmiennych pierwotnie niezależnych [1, 2, 4].

Opis zasady działania algorytmu w ujęciu decyzyjnym można sformułować następująco:

$$G = i_k - i_z * w_z + i_z + p \quad (1)$$

gdzie:

- G – liczba gałązek etapowych analizowanego drzewa decyzyjnego;
- i_k – liczba gałązek k -tego piętra drzewa decyzyjnego;
- i_z – liczba uproszczeń z -tej zmiennej;

Streszczenie: Przedstawiono program komputerowy obliczający rangę ważności parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych danego układu, oparty na decyzyjnej wersji algorytmu Quine'a-McCluskeya minimalizacji wielowartościowych funkcji logicznych. Podano wyniki etapowych obliczeń decyzyjnych dla zmiennych decyzyjnych zgodnie z kryterium, że na danym piętrze musi być pozostawiona zmienna, która zapewnia minimum gałązek decyzyjnych drzewa decyzyjnego. Zastosowano program komputerowy do obliczeń rangi ważności poszczególnych sprawności pompy zębatej.

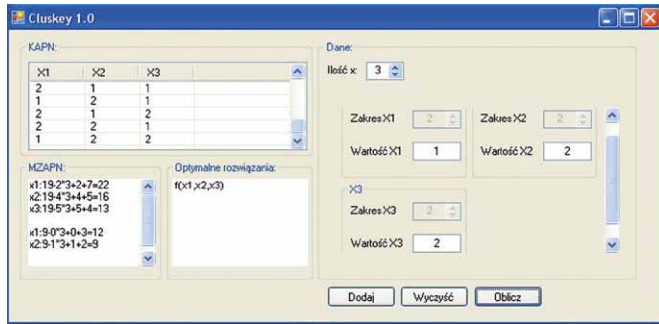
Słowa kluczowe: algorytm Quine'a-McCluskeya minimalizacji indywidualnych funkcji logicznych; ranga ważności zmiennych decyzyjnych; decyzyjne wielowartościowe drzewa logiczne.

APPLICATION OF LOGIC MINIMIZATION ALGORITHMS TO COMPUTATION OF PARAMETER IMPORTANCE RANK IN CONTROL SYSTEMS

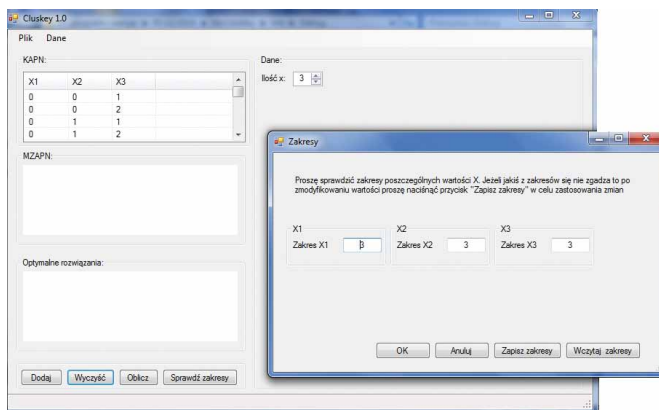
Abstract: This paper presents a computer program that calculates the importance rank of construction-operation parameters of a given system, based on the decision version of the Quine-McCluskey algorithm for minimization of multi-valued logic functions. Results of stage decision calculations are presented for the decision variables according to the criterion that at each level there must be a variable left, which provides the minimum of the decision branches in the decision tree. The computer program is used for calculating the importance rank for various efficiencies of the gear pump.

- w_z – wartościowość z -tej zmiennej;
- p – liczba gałązek, z których powstały wyżej gałązki k -tego piętra niepodlegające uproszczeniu.

Opisane powyżej równanie (1) jest wyliczane tyle razy, ile istnieje zmiennych. Na każdym etapie (piętrze) wybierana jest zmienna, która zapewnia minimum liczby gałązek. Drzewo optymalne w sensie minimum liczby gałązek prawdziwych jednocześnie posiada uszeregowane piętra (zmienne) od najważniejszego na dole do najmniej ważnego na górze.



Rys. 1. Podstawowe okno programu z dostępnymi funkcjami, pierwotnej wersji programu (po prawej stronie okna ręczne podawanie danych)



Rys. 2. Podstawowe okno programu (po dokonaniu poprawek) w trakcie automatycznego pobierania danych wraz z możliwością modyfikacji zakresu wartościowości

3. Opis programu

Podstawowe okno programu składa się z głównego menu (możliwość wczytania/zapisania danych lub zamknięcia programu), obszaru z wypisanymi wczytanymi danymi (KAPN), obszaru z wyliczeniami (MZAPN), obszaru z wypisanymi Optymalnymi rozwiązaniami oraz przyciskami funkcyjnymi (Dodaj, Wyczyść, Oblicz i Sprawdź zakresy). Dodatkowo istnieje możliwość ręcznego wprowadzania danych (w obszarze znajdującym się w prawej części okna – Dane). Pierwsza wersja programu wymagała ręcznego wprowadzenia danych, podania liczby zmiennych oraz ich wartościowości, co było dość czasochłonne (szczególnie przy przykładach z wieloma parametrami), dlatego też kolejna poprawka programu pozwala już na pobranie danych odpowiednio zapisanych w pliku .txt. Przycisk Sprawdź zakresy pozwala na modyfikację wartościowości danych parametrów, ponieważ zdarzają się przykłady zestawów danych, w których ostatnia wartość danego parametru nie pojawia się w żadnym z wyselekcjonowanych układów parametrów. Kliknięcie przycisku Oblicz powoduje automatyczne wyliczenie każdego etapu i wypisanie obliczeń wraz z wynikami pośrednimi w odpowiednim miejscu w programie.

W celu przetestowania programu oraz dokonania zaplanowanych porównań zostały wykonane przykładowe obliczenia dla wybranych przykładów, różniących się między sobą liczbą danych, wartościowością oraz liczbą parametrów.

4. Numeryczny przykład obliczeń na danych logicznych

Pierwszym wyliczonym przykładem był problem ustalenia optymalnych pięter dla zestawu zmiennych x_1, x_2, x_3 (w którym parametr x_1 był dwuwartościowy, parametr x_2 trójwartościowy, a parametr x_3 pięciowartościowy), zapisanego numerycznie w następujący sposób: 000, 001, 002, 110, 003, 102, 004, 013, 103, 014, 023, 113, 024, 123, 124 [1], jako kanoniczna alternatywna postać normalna funkcji logicznej.

W pierwszym etapie otrzymano następujące wyniki:

$$x_1 : 15 - 5 * 2 + 5 + 5 = 15,$$

$$x_2 : 15 - 3 * 3 + 3 + 6 = 15,$$

$$x_3 : 15 - 1 * 5 + 1 + 5 = 16.$$

Już można zauważyć, że kolejny etap będzie musiał być wyliczony alternatywnie dla dwóch minimów, czyli parametrów x_1 i x_2 .

Etap IIa (redukcja po x_1) pozwolił na otrzymanie następujących wyników:

$$x_2 : 10 - 1 * 3 + 1 + 4 = 12,$$

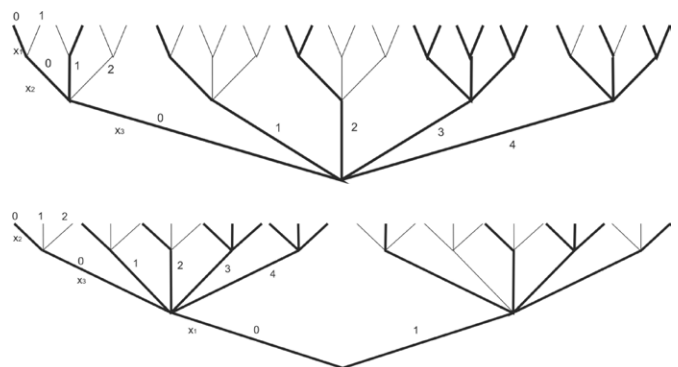
$$x_3 : 10 - 0 * 5 + 0 + 3 = 13,$$

natomiast etap IIb (redukcja po x_2):

$$x_1 : 9 - 1 * 2 + 1 + 4 = 12,$$

$$x_3 : 9 - 0 * 5 + 0 + 2 = 11.$$

Badany przykład ostatecznie posiada dwa optymalne układy $f(x_3, x_2, x_1)$ oraz $f(x_1, x_3, x_2)$ (rys. 3). Takie same wyniki otrzymano, licząc poszczególne wartości bez użycia programu, wspomagając się jedynie funkcjami matematycznymi arkusza kalkulacyjnego (rys. 4).



Rys. 3. Wielowartościowe drzewa logiczne reprezentujące optymalne układy parametrów dla przykładu [1]

Analiza otrzymanych efektów pracy, a także zestawienie wymagane do obliczeń czasu i uwagi użytkownika przekonują, że tworzony program jest wartościowym rozwiązaniem [4, 5]. Oczywiście warte są uwagi kolejne poprawki i niwelowanie ewentualnych błędów pojawiających się w fazie testów, jednakże pozytywne efekty pracy zachęcają do kolejnych testów

Rys. 4. Fragment ręcznych obliczeń wg algorytmu dla przykładu [1], wykonanych przy pomocy programu Excel

z różnymi możliwymi przypadkami. W wyborze przykładów do testu programu pod uwagę brane były także przypadki z czterema lub pięcioma zmiennymi o różnej wartościowości (np. $x_1 = 0, 1$; $x_2 = 0, 1, 2$; $x_3 = 0, 1, 2, 3, 4$; $x_4 = 0, 1$), gdzie po otrzymaniu dwóch bądź większej liczby minimów należało rozpatrzyć równoległe kilka toków dalszych obliczeń.

Przedstawione obliczenia decyzyjne w ujęciu wielowartościowym są istotnym uogólnieniem klasycznego zagadnienia minimalizacji funkcji boolowskich [1, 2, 3, 6, 7, 8].

5. Wyznaczanie rangi ważności parametrów – rzeczywisty przykład pompy zębatej

Jednym ze wspomnianych we wstępie urządzeń automatyki i sterowania (którego praca jest zależna od odpowiedniego doboru wartości parametrów) jest pompa zębata. Urządzenie to składa się z wielu ważnych podzespołów, na prace których wpływają poszczególne parametry. Wśród nich należy wyszczególnić trzy:

- μ (lepkość dynamiczna);
- p (ciśnienie robocze pompy);
- n (prędkość obrotowa).

Wymienione parametry – to istotne zmienne decyzyjne. Odpowiednio dobrane ich arytmetyczne wartości mogą znacznie wpływać na poprawę jakości pracy urządzenia. Fakt ten powoduje, że proces wyznaczenia ich rangi ważności staje się istotnym elementem optymalizacji badanego urządzenia.

Jak zostało wspomniane na wstępie opracowania, pomysł utworzenia komputerowego programu zakładał jego przydatność w obliczeniach w procesie wyznaczania rangi ważności. Jego zadaniem ma być ułatwienie procesu obliczeniowego, zapobieganie pojawianiu się błędów oraz znaczne ograniczenie czasu obliczeń i potrzebnej na nie uwagi użytkownika. Oczywiście program ma być przydatny w obliczeniach prowadzonych w czasie rzeczywistych badań, dlatego też kolejny opisany przykład obliczeniowy bazuje na rzeczywistych wartościach. Wyliczenia dotyczą procesu optymalizacji pompy zębatej, której rzeczywiste wartości (pobrane w czasie badań urządzenia) zostały odpowiednio zakodowane według poniższego kryterium:

- $\mu = 0,015 \text{ kg/ms} \sim 0$; $\mu = 0,018 \text{ kg/ms} \sim 1$; $\mu = 0,025 \text{ kg/ms} \sim 2$;
- $n = 44 \text{ s}^{-1} \sim 0$; $n = 48 \text{ s}^{-1} \sim 1$; $n = 49,6 \text{ s}^{-1} \sim 2$;
- $p = 6,3 \text{ MPa} \sim 0$; $p = 10 \text{ MPa} \sim 1$; $p = 12 \text{ MPa} \sim 2$.

Zatem w procesie wyznaczania rangi ważności biorą udział trzy zmienne trójwartościowe. Oczywiście opisując badane urządzenie, zawsze należy pamiętać, że jest ono maszyną hydrauliczną, której sprawność całkowita (n_c) jest wyliczana poprzez dzielenie mocy wyjściowej przez moc wejściową lub też pomnożenie sprawności objętościowej (n_v) przez sprawność hydrauliczno-mechaniczną (n_{hm}). Dlatego proces wyznaczania rangi ważności był wyliczany dla każdej z opisanych sprawności i dla każdej z nich wybrano odpowiednie wartości parametrów spełniających zadane kryteria:

- $\eta_v \geq 0,95$;
- $\eta_{hm} \geq 0,92$;
- $\eta_c \geq 0,87$.

Wszystkie zakodowane wartości zostały przedstawione w ogólnej tabeli wartości arytmetycznych i logicznych dla

reklama

Tabela 1. Kompletny ogólny zapis arytmetyczny i kodowy

Lp.	μ	n	p	η_v	η_{hm}	η_c					
1	0,025	2	44,0	0	10,0	1	0,948	0,95	0,919	0,92	0,871
2	0,025	2	48,0	1	10,0	1	0,952	0,95	0,915	0,92	0,871
3	0,025	2	49,6	2	12,0	2	0,947	0,95	0,920	0,92	0,871
4	0,025	2	49,6	2	10,0	1	0,954	0,95	0,913	0,91	0,871
5	0,025	2	48,0	1	12,0	2	0,945	0,95	0,921	0,92	0,871
6	0,015	0	44,0	0	6,3	0	0,951	0,95	0,914	0,91	0,870
7	0,018	1	44,0	0	6,3	0	0,956	0,96	0,909	0,91	0,870
8	0,025	2	44,0	0	12,0	2	0,940	0,94	0,925	0,93	0,869
9	0,018	1	49,6	2	10,0	1	0,944	0,94	0,921	0,92	0,869
10	0,018	1	48,0	1	10,0	1	0,942	0,94	0,923	0,92	0,869
11	0,015	0	48,0	1	6,3	0	0,955	0,96	0,909	0,91	0,868
12	0,015	0	49,6	2	6,3	0	0,957	0,96	0,907	0,91	0,868
13	0,018	1	44,0	0	10,0	1	0,937	0,94	0,926	0,93	0,868
14	0,018	1	48,0	1	6,3	0	0,960	0,96	0,904	0,90	0,868
15	0,018	1	49,6	2	6,3	0	0,961	0,96	0,902	0,90	0,867
16	0,018	1	49,6	2	12,0	2	0,935	0,94	0,927	0,93	0,866
17	0,015	0	49,6	2	10,0	1	0,937	0,94	0,925	0,93	0,866
18	0,018	1	48,0	1	12,0	2	0,932	0,93	0,928	0,93	0,866
19	0,015	0	48,0	1	10,0	1	0,934	0,93	0,926	0,93	0,866
20	0,025	2	44,0	0	6,3	0	0,963	0,96	0,898	0,90	0,865
21	0,015	0	44,0	0	10,0	1	0,928	0,93	0,930	0,93	0,863
22	0,018	1	44,0	0	12,0	2	0,926	0,93	0,931	0,93	0,863
23	0,025	2	48,0	1	6,3	0	0,966	0,97	0,892	0,89	0,862
24	0,015	0	49,6	2	12,0	2	0,926	0,93	0,930	0,93	0,861
25	0,025	2	49,6	2	6,3	0	0,967	0,97	0,889	0,89	0,860
26	0,015	0	48,0	1	12,0	2	0,924	0,92	0,931	0,93	0,860
27	0,015	0	44,0	0	12,0	2	0,917	0,92	0,934	0,93	0,856

μ , n , p (tabela 1), a z nich wyselekcjonowano i odpowiednio pogrupowano wartości dla poszczególnych sprawności: n_c , n_{hm} i n_v (tabela 2) [9, 10, 11].

Warto wspomnieć, że prawidłowym opisem rangi ważności parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych, od najważniejszego na dole do najmniej ważnego na górze, są jedynie drzewa logiczne, które posiadają najmniejszą liczbę gałęzi prawdziwych po dokonaniu uproszczeń logicznych gałęzi mniej ważnych bez powstawania gałęzi izolowanych [1, 9, 12].

5.1. Proces wyznaczania rangi ważności dla poszczególnych sprawności pompy zębatej

Jak już zostało wspomniane, obliczenia zostały wykonane trzy razy, ze względu na trzy rodzaje sprawności badanego urządzenia. Pierwsze obliczenia przeprowadzono dla sprawności objętościowej. Za pomocą przycisku *Dane* → *Wczytaj KAPN* zostały wczytane wartości parametrów z pliku .txt, zakodowane i wyselekcjonowane dla danej sprawności. Po zatwierdzeniu zakresów poszczególnych parametrów można było poprzez kliknięcie przycisku *Oblicz* uruchomić proces obliczeniowy. W wyniku tego zabiegu otrzymano następujące wyniki:

Tabela 2. Zakodowane logicznie dane dla rzeczywistych sprawności [13]

Dane dla sprawności objętościowej				Dane dla sprawności całkowitej				Dane dla sprawności hydrauliczno-mechanicznej			
Lp.	μ	n	p	Lp.	μ	n	p	Lp.	μ	n	p
1	0	0	0	1	2	0	1	1	0	0	1
2	0	1	0	2	2	1	1	2	0	0	2
3	0	2	0	3	2	1	2	3	0	1	1
4	1	0	0	4	2	2	2	4	0	1	2
5	1	1	0	5	2	2	1	5	0	2	1
6	1	2	0					6	0	2	2
7	2	0	0					7	1	0	1
8	2	0	1					8	1	0	2
9	2	1	0					9	1	1	1
10	2	1	1					10	1	1	2
11	2	1	2					11	1	2	1
12	2	2	0					12	1	2	2
13	2	2	1					13	2	0	1
14	2	2	2					14	2	0	2
								15	2	1	1
								16	2	1	2
								17	2	2	2

Etap I

$x_1(\mu) : 14 - 3 * 3 + 3 + 5 = 13;$
 $x_2(n) : 14 - 4 * 3 + 4 + 1 = 7;$
 $x_3(p) : 14 - 2 * 3 + 2 + 7 = 17$

Etap II

$x_1(\mu) : 5 - 1 * 3 + 1 + 2 = 5;$
 $x_3(p) : 5 - 0 * 3 + 0 + 3 = 8.$

Jak można zauważyć, w etapie pierwszym otrzymano tylko jedno minimum – $x_2(n)$, zatem kolejny etap II został wyliczony tylko dla μ , p , gdzie otrzymano minimum dla $x_1(\mu)$.

Ostatecznie można zauważyć (wyczytując wyniki z okna *Optymalne rozwiązania*), że badany układ dla sprawności objętościowej posiada jeden optymalny układ. Jest nim układ $f(p, \mu, n)$, co pokazano rys. 5, przedstawiającym optymalne wielowartościowe drzewa logiczne.

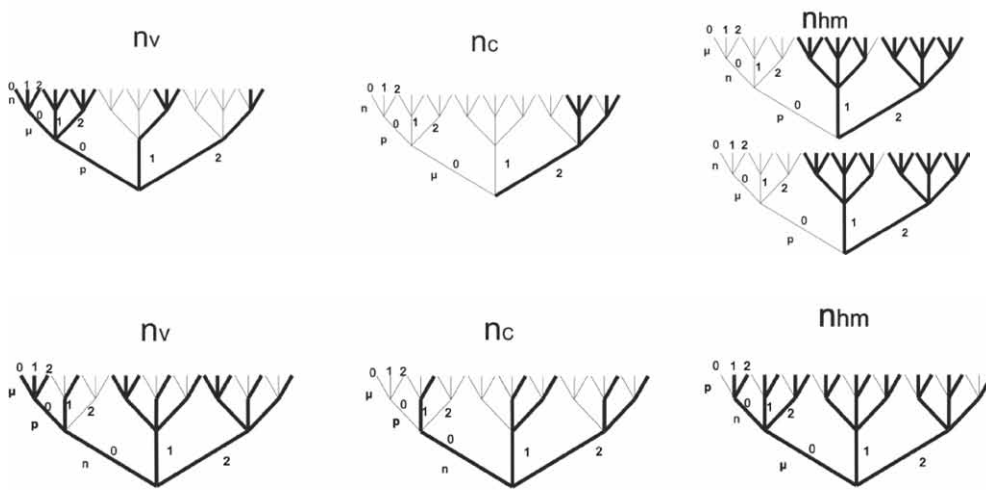
W analogiczny sposób zostały przeprowadzone obliczenia dla sprawności hydrauliczno-mechanicznej. Program po kilku sekundach wyświetlił informację o optymalnych układach, wynikających z następujących obliczeń etapowych:

Etap I

$x_1(\mu) : 17 - 5 * 3 + 5 + 1 = 8;$
 $x_2(n) : 17 - 5 * 3 + 5 + 1 = 8;$
 $x_3(p) : 17 - 0 * 3 + 0 + 9 = 26$

Etap IIa

$x_2(n) : 6 - 1 * 3 + 1 + 1 = 5;$
 $x_3(p) : 6 - 0 * 3 + 0 + 3 = 9$



Rys. 5. Wielowartościowe drzewa logiczne reprezentujące optymalne układy parametrów rangi ważności [9, 13]

Rys. 6. Wielowartościowe drzewa logiczne reprezentujące niekorzystne układy parametrów rangi ważności

Etap IIb

$$x_1(\mu) : 6 - 1 * 3 + 1 + 1 = 5;$$

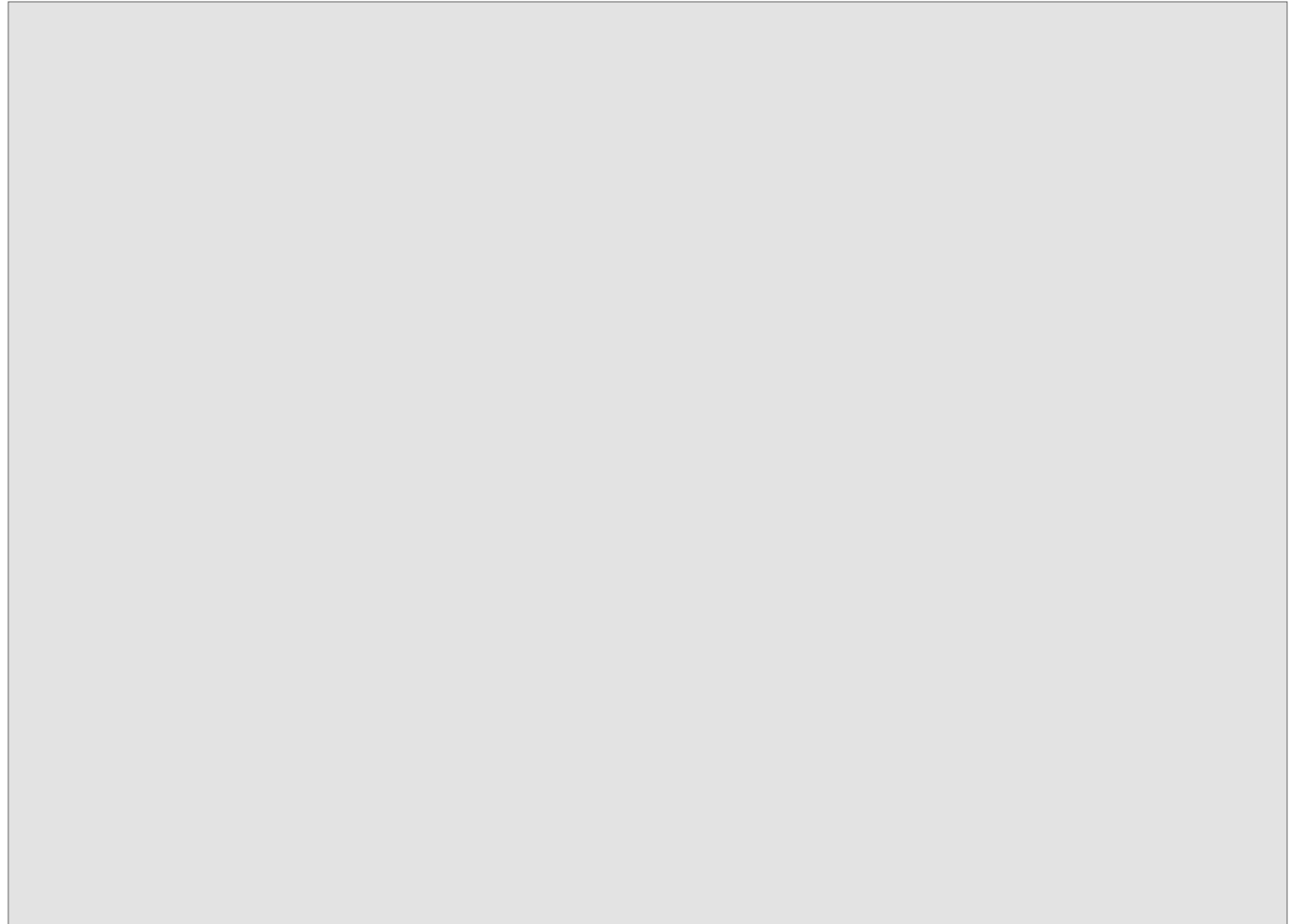
$$x_3(p) : 6 - 0 * 3 + 0 + 3 = 9.$$

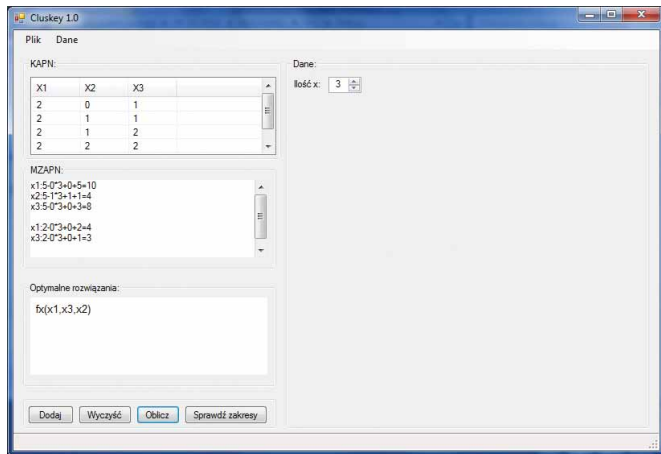
Wyliczenia etapu pierwszego pokazały, że w etapie tym występują dwa minima – $x_1(\mu)$ oraz $x_2(n)$. Dlatego kolejny etap – II został wyliczony alternatywnie: etap IIa (redukcja po x_1) oraz etap IIb (redukcja po x_2).

Ostatecznie w oknie *Optymalne rozwiązania* dla sprawności hydrauliczno-mechanicznej zostały wyświetlone dwa układy pięter decyzyjnych $f(p, n, \mu)$ oraz $f(p, \mu, n)$. Układy te zostały zaprezentowane na rys. 5.

Wyliczenia dla ostatniej z badanych sprawności – sprawności całkowitej, wykonane analogicznie, pozwoliły otrzymać jeden optymalny układ $f(\mu, p, n)$, natomiast pośrednie wyliczenia wyglądały następująco:

reklama





Rys. 7. Wyliczenia programu dla sprawności całkowitej

Etap I

$x_1 (\mu) : 5 - 0 * 3 + 0 + 5 = 10;$
 $x_2 (n) : 5 - 1 * 3 + 1 + 1 = 4;$
 $x_3 (p) : 5 - 0 * 3 + 0 + 3 = 8$

Etap II

$x_1 (\mu) : 2 - 0 * 3 + 0 + 2 = 4;$
 $x_3 (p) : 2 - 0 * 3 + 0 + 1 = 3.$

Dodatkowo należy zaznaczyć, że wybrane niekorzystne układy parametrów rangi ważności można przedstawić także za pomocą wielowartościowych drzew logicznych (rys. 6).

Wyniki otrzymane w czasie ostatnich obliczeń zostały zaprezentowane zarówno na wielowartościowym drzewie logicznym (rys. 5), jak i na zrzucie przedstawiającym okno programu (rys. 7). W celu oszacowania czasu pracy oraz statystyki błędów przedstawione wyżej wyliczenia zostały alternatywnie wykonane w sposób tradycyjny (z wykorzystaniem programu Excel 2010). Na rys. 8 przedstawiono przykład „ręcznych” wyliczeń dla wybranej sprawności (sprawność całkowita). Jak łatwo przewidzieć, wykorzystanie programu w celach obliczeniowych znacznie skróciło ich czas, a także zapobiegło pojawianiu się błędów i pomyłek. Etapy alternatywne (np. etap IIa i IIb) w programie były wyliczane równoległe, co również znacznie ograniczyło czas obliczeń.

6. Wnioski

Wykorzystanie logicznych algorytmów minimalizacyjnych komputerowego wspomaganie w procesie wyznaczania optymalnych układów parametrów oraz ich rangi ważności w układach automatyki i sterowania jest rozwiązaniem przyszłościowym i bardzo komfortowym w prowadzonych badaniach. Dzięki użyciu opracowanego programu zostaje zaoszczędzony czas i uwaga użytkownika, który po otrzymaniu wyników równie rzetelnych jak po obliczeniach tradycyjnych może przeprowadzić dalszą analizę. Dlatego też w dalszych planach jest kontynuacja modernizowania i poprawiania funkcjonalności programu, a także dalsze rozbudowane testy. Program zostanie przetestowany na kolejnych przykładach numerycznych,

mi	n	p		
2	0	1	a	
2	1	1	b	dla mi: 5-0*3+0+5=10
2	1	2	c	
2	2	2	d	
2	2	1	e	

n	mi	p		
0	2	1	a	
1	2	1	a	dla n: 5-1*3+1+1=4
1	2	2	b	
2	2	1	a	
2	2	2	b	

p	mi	n		
1	2	0	a	
1	2	1	b	dla p: 5-0*3+0+3=8
1	2	2	c	
2	2	1	b	
2	2	2	c	

ETAP II redukcja po n

n	mi	p		
-	2	1		
	2	2		dla mi: 2-0*3+0+2=4

n	p	mi		
-	1	2		
	2	2		dla p: 2-0*3+0+1=3

optymalne: mi,p,n

Rys. 8. Przykład ręcznych obliczeń wg algorytmu dla sprawności całkowitej, wykonanych przy pomocy programu Excel

ale przede wszystkim na odpowiednio zakodowanych rzeczywistych danych z prowadzonych badań. Wśród rozważanych układów automatyki i sterowania będą takie urządzenia, jak pompa wirowo-śmigłowa w ruchu turbinowym i pompa zębata z podcięтым zębem.


Dodatkowym utrudnieniem dla programu komputerowego mają być większa liczba parametrów i ich zróżnicowana wartościowość, a także liczba zestawów. Planowane testy oraz uzyskane z nich pozytywne wyniki pozwolą na udoskonalenie obecnych funkcji programu oraz na rozważenie rozszerzenia programu o zaprogramowanie kolejnych aplikacji dla zmiennych decyzyjnych warunkowych, zmiennych interakcyjnych, kryterium kompromisu itd. [1, 2, 3, 4, 5, 9, 12, 13]. Przedstawiony w opracowaniu oprogramowany algorytm może być stosowany do różnych złożonych układów automatyki i sterowania, gdzie obowiązuje hierarchia piętrowa logicznych drzew decyzyjnych, która odpowiada wyznaczaniu rangi ważności zmiennych decyzyjnych dla parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych.

Literatura

[1] PARTYKA M.A.: *Algorytm Quine'a-McCluskeya minimalizacji indywidualnych cząstkowych wielowartościowych funkcji logicznych*, St. i Monogr. Nr 109, Politechnika Opolska, Opole 1999.
 [2] KOZIARSKA A.: *Drzewo logiczne w ustalaniu rangi ważności parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych*, XXI Sympozjum Podstaw Konstrukcji Maszyn, Ustroń 2003, Zeszyty Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej Nr 5/8, Bielsko-Biała 2003.

- [3] PARTYKA M.A., GRABOWSKI C., SOJKA M.: *Komputerowe wspomaganie oceny rangi ważności parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych układów maszynowych z uwzględnieniem interakcji*, Konferencja Komputerowe Zintegrowane Zarządzanie. Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją PTZP, Opole 2009.
- [4] KOZIARSKA A., PARTYKA M.A., STANIK-BESLER A.: *Wybrane zagadnienia minimalizacji wielowartościowych funkcji logicznych w strukturalizacji procesów decyzyjnych*, Politechnika Opolska, Opole 2005.
- [5] TISZBIEREK A.: *Komputerowe wspomaganie procesu wyznaczania optymalnych logicznych wielowartościowych drzew decyzyjnych*, XLIII Ogólnopolska Konferencja Naukowa Zastosowań Matematyki PAN, Zakopane-Kościelisko 2014, Instytut Matematyki PAN, Warszawa 2014.
- [6] MCCLUSKEY E.J.: *Minimization of Boolean functions*, Bell Syst. Tech. Jour., July 1956.
- [7] QUINE W.V.O.: *A way to simplify truth functions*, Amer. Mathem. Mont. 1955.
- [8] QUINE W.V.O.: *Logika matematyczna*, PWN, Warszawa 1974.
- [9] GRABOWSKI C., PARTYKA M.A.: *Nakładkowe drzewa logiczne dla kryterium kompromisu w optymalizacji dyskretnej na przykładzie pomp zębatych*. „Górnictwo Odkrywkowe” 4–5/2008.
- [10] KOLLEK W.: *Pompy zębate*, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław 1996.
- [11] KOLLEK W.: *Wpływ parametrów eksploatacyjnych na sprawność pomp zębatych*, „Sterowanie i Napęd Hydrauliczny” 3/1983.
- [12] ŁUSZCZYNA R., PARTYKA M.A.: *Analiza efektywności logicznych drzew nakładkowych i multiplikatywnej regresji wielokrotnej w ocenie rangi ważności parametrów eksploatacyjnych i sprawności pompy zębatej*, International Conference Hydraulics and Pneumatics 2012, SIMP, Wrocław 2012.
- [13] PARTYKA M.A., TISZBIEREK A.: *Automatyzacja projektowania rangi ważności parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych w procesie optymalizacji pompy zębatej*, Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Napędy i Sterowania Hydrauliczne i Pneumatyczne 2015, Szklarska Poręba – Jakuszyce 2015, Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP, Wrocław 2015.

Prof. dr hab. Marian A. Partyka jest profesorem zwyczajnym w Katedrze Inżynierii Wiedzy na Wydziale Inżynierii Produkcji i Logistyki Politechniki Opolskiej. Mgr inż. Agnieszka Tiszbierek jest doktorantką na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, a ponadto asystentem w Katedrze Inżynierii Wiedzy na Wydziale Inżynierii Produkcji i Logistyki Politechniki Opolskiej.

 prof. dr hab. Marian A. Partyka, prof. zw.; mgr inż. Agnieszka Tiszbierek – Politechnika Opolska – Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, e-mail: a.tiszbierek@po.opole.pl

artykuł recenzowany