

DUER Stanisław¹
 BERNATOWICZ Dariusz²
 DUER Radosław

Metoda wnioskowania w logice wielowartościowej w programie diagnostycznym DIAG 2

WSTĘP

W literaturze szeroko są przedstawione inteligentne systemy wspomagające działania techniczno-technologiczne człowieka. Systemy te stosuje się w nadzorowaniu oraz w organizacji procesów techniczno-technologicznych, w aspekcie ich diagnozowania oraz przy ocenie jakościowej. Systemy te są szczególnie przydatne, gdy analizowanych jest wiele zmiennych oraz wymagane jest uwzględnienie złożonych czynników oddziaływujących na nie, a dotyczących: stanu technicznego urządzeń technicznych, narzędzi, środków produkcji oraz doboru warunków i parametrów procesu. Ważne osiągnięcia wnoszą następujące prace [1, 7, 11, 12, 13, 14]. Opracowane w nich koncepcje i szczegółowe systemy złożone z wielu wyspecjalizowanych modułów dotyczą przede wszystkim inteligentnych, kompleksowych systemów nadzorowania procesów technologicznych, w tym i procesów obsługowych. Są to między innymi opracowania W. Kacalaka i innych [7], w których opisano podstawy zastosowania systemów inteligentnych w rozwiązywaniu i wspomaganiu procesów organizacji różnego typu problemów techniczno-technologicznych. Ważnym osiągnięciem zaprezentowanym w tych pracach jest opis sposobów przekształcania wiedzy człowieka – specjalisty do postaci wiedzy wyrażanej w języku programowania komputerowego. Do tej grupy opracowań należą także prace autora [2-9].

Od samego początku diagnostyka techniczna stosuje logikę dwuwartościową, w której "1" określa stan zdalny, a "0" niezdatny. Celem tego rodzaju diagnozowania jest rozpoznanie stanu niezdatności (awarii) i zlokalizowanie elementu generującego taki stan [7]. W przypadku organizacji działań obsługowych obiektu, ważne znaczenie ma rozpoznanie stanów uprzedzających wystąpienie stanu niezdatności, dlatego zastosowanie logiki dwuwartościowej stało się niewystarczające [1, 11-13].

Diagnostyka techniczna dostarcza użytkownikowi obiektu informacji diagnostycznej na potrzeby organizacji procesu obsługiwanego. Szczególnym jej przykładem jest informacja wyrażana w logice trójwartościowej. Diagnozowanie obiektów technicznych w logice trójwartościowej pozwala zidentyfikować obiekcie stany: *zdatności* – {2}, *stan niezdatności* – {0}, a także stan *niepełnej zdatności* – {1} [7]. Uzyskana informacja diagnostyczna o obiekcie przy takim diagnozowaniu, ze względu na rozpoznanie w niej stanu niepełnej zdatności elementów wewnętrznych w obiekcie staje się podstawą wiedzy przy podejmowaniu decyzji obsługowych lub konstruowania strategii obsługiwanego organizującego nowy kierunek w obsłudze obiektów technicznych nazwany obsługiwaniem według stanu [1, 7, 11-13]. W takiej sytuacji, gdy te dwie dziedziny wiedzy: teoria diagnostyki i teoria obsługiwanego obiektów technicznych, wzajemnie ze sobą współpracują w organizacji procesu obsługiwanego obiektu technicznego, można już mówić o systemie obsługiwanego.

Zwiększenie możliwości do uzyskania informacji diagnostycznej otrzymano przez zastosowanie trójwartościowej logiki wprowadzającej pośredni stan niepełnej zdatności [7]. Pomimo, że problematyka diagnozowania w logice trójwartościowej jest nadal rozwijana to opracowane zagadnienia i reguły wnioskowania diagnostycznego nie w pełni rozwiązują problemy współczesnych obiektów technicznych. Ich duża złożoność i odpowiedzialność zadań wymaga dostarczenia użytkownikowi szybkiej i wiarygodnej informacji o stanie technicznym tych obiektów. Jednym ze sposobów przeciwdziałania tym problemom jest wprowadzenie diagnostyki wielowartościowej z większą liczbą stanów [7]. Dodatkowym impulsem promującym powyższe podejście jest uzyskanie

¹ Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny; 75-453 Koszalin; ul. Śniadeckich 2. Tel: +48 3478-262, stduer@tu.koszalin.pl

² Politechnika Koszalińska, Wydział Elektroniki i Informatyki; 75-453 Koszalin; ul. Śniadeckich 2 dariusz.bernatowicz@tu.koszalin.pl

stosunkowo niskiego wzrostu kosztu obliczeniowego podczas rozszerzenia liczby rozróżnialnych stanów. Jednakże zastosowanie diagnostyki wielowartościowej wymaga wielu analiz techniczno-ekonomicznych, a także unifikacji zasad i reguł dla różnych klas obiektów technicznych.

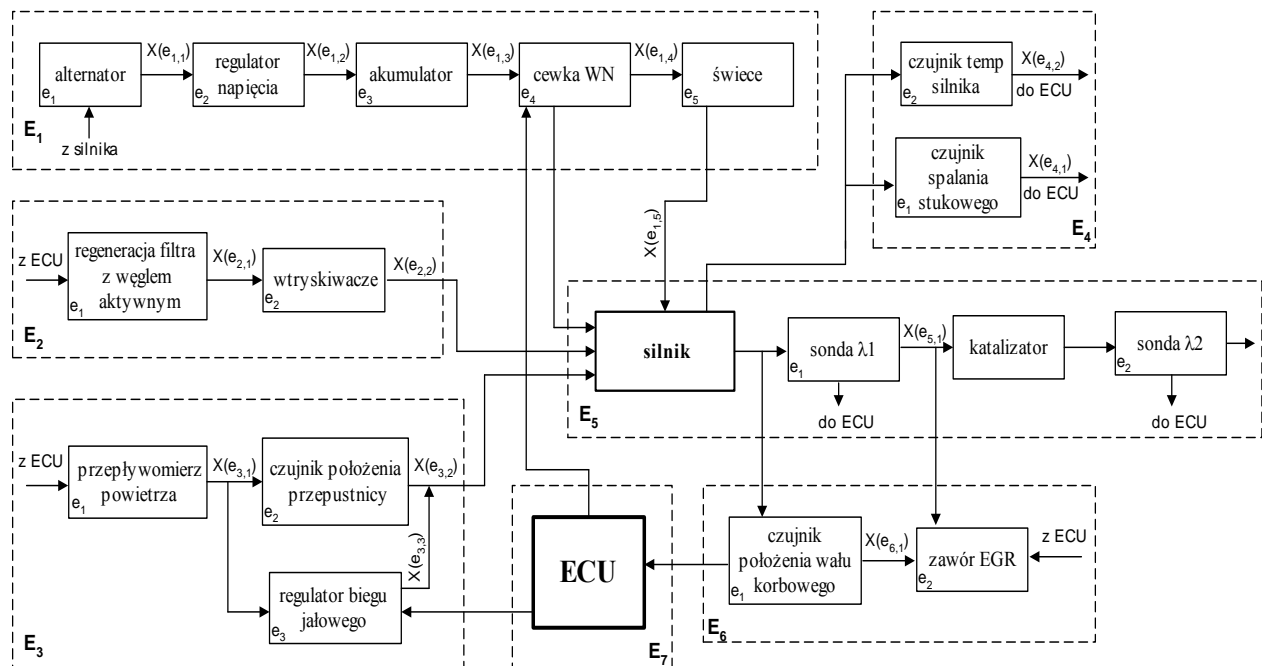
Prowadzone przez autorów badania nad wykorzystaniem logiki czterowartościowej w procesie diagnozowania złożonych obiektów technicznych przyczyniły się do powstania autorskiego komputerowego systemu diagnostycznego DIAG 2, będącego rozwinięciem inteligentnego programu DIAG. W omawianym systemie komputerowym zaimplementowano pełen proces diagnostyczny w logice wielowartościowej, poczynając od etapu tworzenia schematu diagnostyczno-funkcjonalnego, poprzez wyznaczanie zbioru informacji diagnostycznej, a na etapie klasyfikacji i wnioskowania kończąc.

1. DIAGNOZOWANIE URZĄDZENIA ELEKTRONICZNEGO SYSTEMU STEROWANIA PRACĄ SILNIKA SAMOCHODOWEGO TYPU MOTRONIC

W pracy przedstawiono podejście do komputerowego diagnozowania analogowego urządzenia samochodowego (wraz z oprzyrządowaniem) sterującego pracą silnika samochodowego o zapłonie iskrowym (Rys. 1. i 2.). Stanowisko badawcze opracowano na bazie silnika zapłonie iskrowym z systemem sterowania Motronic wraz z oprzyrządowaniem. W przykładzie wykorzystano naprawialny obiekt techniczny klasy analogowej, którego struktura wewnętrzna (Rys. 1.) składa się z sześciu zespołów różnych klas, w tym mechanicznej, elektronicznej, mechatronicznej itp. (E_1, E_2, \dots, E_6), w każdym z zespołów wyróżniono do pięciu elementów podstawowych-modułów [2-9].

Badany obiekt poddano opracowaniu diagnostycznemu w efekcie, którego opracowano schemat funkcjonalno-diagnostyczny (Rys. 1.) na podstawie, którego wyznaczono wymagany zbiór sygnałów diagnostycznych $\{X_{i,j}\}$. Elementy podstawowe obiektu znajdujące się w schemacie funkcjonalno-diagnostycznym (Rys. 1.) „adresowane” są w następujący sposób $(e_{i,j})$, gdzie: j – jest numerem elementu w i -tym zespole obiektu.

Na podstawie analizy funkcjonalno-diagnostycznej w obiekcie wyróżniono zbiór elementów podstawowych i ich sygnały wyjściowe. Uzyskane wyniki zestawiono w tablicach (Tab. 1 i 2).



Rys. 1. Schemat funkcjonalno – diagnostyczny systemu Motronic do badania stanu (dla szesnastu sygnałów)

Tab. 1. Struktura wewnętrzna obiektu

Zespoły obiektu	Elementy podstawowe obiektu $\{X(e_{i,j})\}$				
E_i	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5
E_1	$e_{1,1}$	$e_{1,2}$	$e_{1,3}$	$e_{1,4}$	$e_{1,5}$
E_2	$e_{2,1}$	$e_{2,2}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_3	$e_{3,1}$	$e_{3,2}$	$e_{3,3}$	\emptyset	\emptyset
E_4	$e_{4,1}$	$e_{4,2}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_5	$e_{5,1}$	$e_{5,2}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_6	$e_{6,1}$	$e_{6,2}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_7	$e_{7,1}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset

gdzie: E_1 – układ zapłonowy: $e_{1,1}$ – alternator, $e_{1,2}$ – regulator napięcia, $e_{1,3}$ – akumulator, $e_{1,4}$ – cewka WN, $e_{1,5}$ – świeca zapłonowa; E_2 – układ zasilania paliwem: $e_{2,1}$ – regeneracja filtra z węglem aktywnym, $e_{2,2}$ – wtryskiwacz; E_3 – układ zasilania powietrzem: $e_{3,1}$ – przepływomierz powietrza, $e_{3,2}$ – czujnika położenia przepustnicy, $e_{3,3}$ – regulator biegu jałowego; E_4 – układ czujników: $e_{4,1}$ – czujnik spalania stukowego, $e_{4,2}$ – czujnik temperatury cieczy chłodzącej; E_5 – układ wylotowy: $e_{5,1}$ – sonda λ (1), $e_{5,2}$ – katalizator, $e_{5,3}$ – sonda λ (2); E_6 – silnik: $e_{6,1}$ – czujnik prędkości wału korbowego, $e_{6,2}$ – zawór EGR; E_7 – $e_{7,1}$ komputer pokładowy (mikroprocesor-sterownik).

Tab. 2. Tablica wzorcowych sygnałów diagnostycznych

Zespoły obiektu	Sygnały wzorcowe $\{X_{(w)}(e_{i,j})\}$ w elementach obiektu				
E_i	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5
E_1	12	12	12	48	48
E_2	14	48	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_3	3	4	12	\emptyset	\emptyset
E_4	2	3	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_5	1	1	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_6	3	12	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_7	5	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset

Tab. 3. Tablica sygnałów pomiarowych obiektu

Zespoły obiektu	Sygnały wyjściowe $\{X(e_{i,j})\}$ w elementach obiektu				
E_i	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5
E_1	12,51	12,37	11,32	47,85	47,71
E_2	13,12	49,40	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_3	2,91	3,82	12,21	\emptyset	\emptyset
E_4	1,6	2,95	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_5	0,97	0,91	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_6	2,85	12,72	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_7	5,24	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset

Badanie stanu obiektu z wykorzystaniem programu DIAG 2 przeprowadzono na podstawie wykonanych pomiarów cech wyróżnionych sygnałów diagnostycznych, które poddano badaniu i analizie przez SSN.

2. WNIOSKOWANIE W LOGICE WIELOWARTOŚCIOWEJ STANÓW BADANEGO OBIEKTU TECHNICZNEGO

Zewnętrznym odzwierciedleniem każdego ze stanów obiektu są ściśle określone wartości wielkości fizycznych charakteryzujące obiekt. Wielkości fizyczne, zwane również cechami, związane są z właściwościami technicznymi badanego obiektu. Sygnały wyjściowe obiektu zależą więc od stanów sygnałów wejściowych i stanów jego elementów podstawowych.

Stan diagnostyczny obiektu określany jest na podstawie badania zbioru sygnałów wyjściowych (diagnostycznych) i polega na porównywaniu obrazu sygnału diagnostycznego z obrazem jego sygnału wzorcowego (nominalnego). Etap klasyfikacji w procesie diagnozowania wyznacza zatem określony stan dla każdego elementu podstawowego badanego obiektu technicznego. Sprawdzamy więc, czy wartości sygnałów wyjściowych poszczególnych elementów mieszczą się w zakresie ich zmian dopuszczalnych. Klasyfikacja stanów dla zespołów funkcjonalnych lub samego obiektu określana jest na podstawie reguł klasyfikacji i zależy od wartościowości logiki (liczby jej stanów) (Rys. 5). Proces klasyfikacji stanów w opisywanym systemie komputerowym realizowany jest po wybraniu panelu „Classification”. W panelu tym występują opcje konfiguracyjne i wynikowe tablice stanów (mapy stanów). W ramach konfiguracji możemy określić: typ logiki stanów i zakres ich przedziałów, opcje prezentacji wizualnej w tablicy stanów oraz parametry sieci RBF. Przyjęte stany obiektu dla logiki wielowartościowej określono w polskich normach dotyczących niezawodności i jakości obsługi [4, 15] (Rys. 2).

The screenshot shows the 'Classification' panel in the DIAG 2 v1.0 - Motronic software. The panel is titled 'Classification of states : Object 1 (O1) - Układ sterowania'. It includes a 'Type of logic' section with a dropdown set to 'Four-states { 0, 1, 2, 3 }' and three input fields for ϵ_1 (0,9), ϵ_2 (0,95), and ϵ_3 (0,98). There is a 'Preview' section with checkboxes for State 0, State 1, State 2, State 3, Sign \emptyset , and Color \emptyset . Below this is the 'RBF Network Options' section with a 'Type of function' dropdown set to 'Gaussian' and input fields for σ (1), LE (1000), and LC (10000). At the bottom, there are two 'Tables of states'.

Unit	e1	e2	e3	e4	e5
E1	2	3	1	3	3
E2	1	2			
E3	2	2	3		
E4	0	3			
E5	2	1			
E6	2	0			
E7	2				

Unit	Object
E1	1
E2	1
E3	2
E4	0
E5	1
E6	0
E7	2

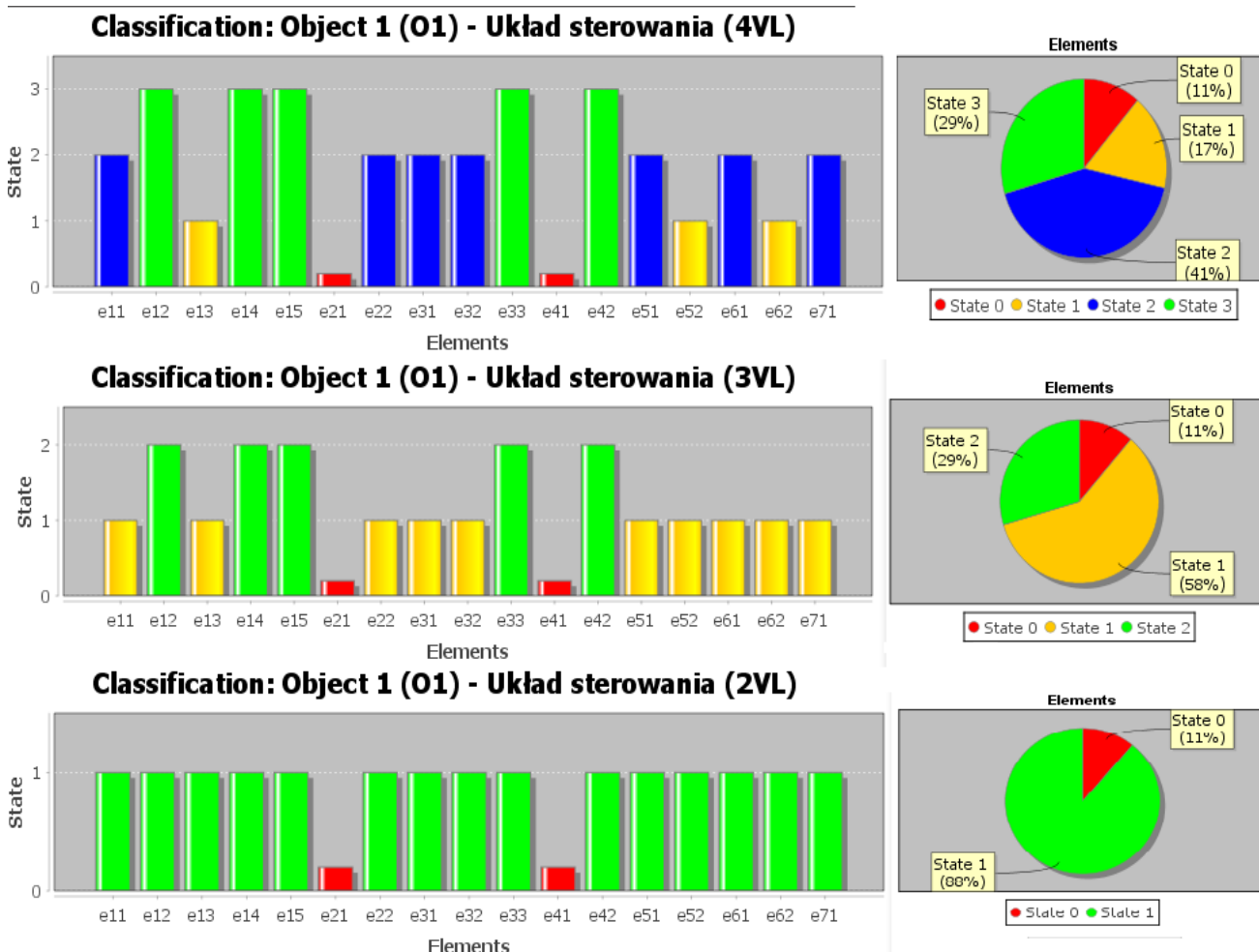
Rys. 2. Panel klasyfikacji obiektu technicznego w procesie diagnostycznym

W opisywanym systemie maksymalną liczbę stanów ograniczono do czterech umożliwiając w ten sposób wybór logiki dwu, trzy lub czterowartościowej. Stanom obiektu po klasyfikacji przypisano symbole 0, 1, 2, 3 i tak dla logiki czterowartościowej określają one następujące stany [7]:

- Stan zdatności oznaczony wartością "3", określa taki stan obiektu, w którym realizuje on zadania zgodnie z przeznaczeniem (kolor zielony),

- Stan niepełnej zdatości oznaczony wartością "2", określa stan obiektu posiadającego zdolność do niepełnego wykonania zadania (kolor niebieski),
- Stan zdatości krytycznej oznaczony wartością "1", określa stan obiektu posiadającego zdolność do wykonywania zadań w mocno ograniczonym zakresie (kolor żółty),
- stan niezdatności oznaczony wartością "0", określa stan, w którym obiekt utracił zasób funkcjonowania i nie jest zdolny do wykonywania zadań zgodnie z przeznaczeniem (kolor czerwony).

Po zdefiniowaniu konfiguracji typu logiki i parametrów sieci RBF naciśnięcie przycisku „Start” wywoła zadanie klasyfikacji. Zadanie to wykonywane jest w oddzielnym wątku i na czas jego realizacji większość opcji tego panelu tj. mapy, wykresy itp. jest wyłączona. Po zakończeniu etapu klasyfikacji wyniki prezentowane są w dwóch tablicach. Pierwsza tablica (lewa) przedstawia stany elementów podstawowych obiektu, a druga (prawa) stany zespołów funkcjonalnych oraz badanego obiektu. Wartości stanów określane są na podstawie reguł klasyfikacji, gdzie stan zespołu funkcjonalnego równy jest najniższemu stanowi jego elementów podstawowych, natomiast stan obiektu określa najniższy stan zespołu funkcjonalnego. W ramach pojedynczej klasyfikacji realizowany jest tylko jeden typ logiki stanów i w celu ich porównania należy uruchomić każdą logikę oddzielnie po wcześniejszym zapisaniu wyników (Rys. 3) [4].



gdzie: (4VL) - dla wnioskowania w logice czterowartościowej, gdzie: (3VL) - dla wnioskowania w logice trójwartościowej, (2VL) - dla wnioskowania w logice dwuwartościowej.

Rys. 3. Porównanie wyników klasyfikacji dla logiki dwu, trzy i czterowartościowej układu sterowania silnikiem typu Motronic. Po lewej mamy histogram stanów dla elementów podstawowych obiektu, a po prawej, procentowy udział poszczególnych stanów.

Uzyskane rezultaty procesu klasyfikacji można przedstawić w postaci:

- Mapy stanów przedstawiającej pokolorowaną i opisaną symbolami siatkę (tabelę) stanów, umożliwiającą ogólny podgląd wszystkich elementów obiektu,
- Wykres kołowy przedstawiający procentowy udział występowania poszczególnych stanów badanego obiektu,
- Histogram stanów elementów podstawowych lub zespołów funkcjonalnych,
- Raport klasyfikacji przedstawiający w sposób opisowy konfigurację, przebieg i wyniki etapu klasyfikacji.

Przykładowe porównanie klasyfikacji systemu sterowania silnikiem typu Motronic dla logiki dwu, trzy i czterowartościowej przedstawiono na rys. 3. Wykresy umieszczone po lewej stronie tzw. histogramy zawierają wartości stanów 16 sygnałów diagnostycznych dla elementów podstawowych obiektu. Natomiast wykresy kołowe z prawej strony informują nas o procentowej liczbie wystąpienia poszczególnych stanów w stosunku do całkowitej liczby elementów podstawowych obiektu. Zarówno jedne jak i drugie wykresy jednoznacznie ukazują przewagę logiki dwu i trójwartościowej nad dwuwartościową.

Przedstawione na rys. 3 wyniki eksperymentu służą głównie ukazaniu możliwości wystąpienia dopuszczalnych stanów i różnic w poszczególnych logikach. W rzeczywistości z punktu widzenia działań obsługowych obiektu, interesują nas głównie stany pośrednie uprzedzające wystąpienie stanu niezdatności "0". Do stanów tych zaliczamy stan zdatności krytycznej "1", i stan niepełnej zdatności "2" tylko dla logiki czterowartościowej. Wnoszą one dodatkową informację o stanie obiektu, która wpływa na planowanie i decyzję podejmowania działań obsługowych. Wynika to z faktu, że użytkowanie urządzenia technicznego może trwać tak długo, dopóki nie straci ono swoich własności użytkowych. Jeżeli tak się stanie to musi zostać poddane procesowi odnowy, który odtwarza jego cechy eksploatacyjne. Zastosowanie logiki dwuwartościowej nie pozwala nam na uchwycenie utraty własności przez urządzenie dopóki nie nastąpi awaria, dlatego pomijamy ją w dalszym rozważaniu.

Analizując stany pośrednie z rys. 3, możemy zauważyć, że stan zdatności krytycznej dla logiki trójwartościowej występuje w 58% elementów obiektu, a w logice czterowartościowej tylko w 17%.. Wystąpienie tego stanu informuje nas o dużym ograniczeniu zdolności do wykonywania zadań przez tzw. elementy krytyczne, co powoduje konieczność odnowy cech eksploatacyjnych tych elementów. Wprowadzenie dodatkowej informacji w postaci stanu niepełnej zdatności "2" dla logiki czterowartościowej, zmniejsza liczbę elementów krytycznych z 10 do 3, co daje spadek aż o 70%. Zmniejszenie liczby elementów w procesie odnowy proporcjonalnie zmniejsza jej koszty i jednocześnie wydłuża czas użytkowania urządzenia. Jest to więc informacja bardzo istotna mająca wpływ na profilaktyczną obsługę techniczną określającą przeciętny czas bezawaryjnej pracy obiektu.

Warto jeszcze zwrócić uwagę na hipotetyczną sytuację, w której wszystkie elementy obiektu określone są stanem niepełnej zdatności "2" w logice czterowartościowej. W takim przypadku można założyć, że obiekt nie wymaga procesu odnowy, gdyż nie posiada elementów krytycznych. Dla tych samych elementów sytuacja w logice trójwartościowej diametralnie się zmienia, ponieważ w tym obiekcie wszystkie elementy stają się elementami krytycznymi (wzrost o 100%) i wymagają procesu odnowy. W logice dwuwartościowej natomiast, wszystkie elementy zostaną uznane za w pełni zdadne do realizacji przeznaczonych zadań, tracąc w ten sposób cenną informację stanów pośrednich. Możemy więc zauważyć, że w każdej logice te same elementy przyjmują wartość innego stanu, która zależy również od przedziałów istotności poszczególnych stanów.

W powyższych dwóch przykładach wykazano korzyści wprowadzenia dodatkowej informacji przez logikę czterowartościową. Dalsze zwiększanie liczby stanów w logice wielowartościowej powoduje zmniejszanie przyrostu uzyskiwanej informacji i wzrost kosztów, dlatego należy zawsze uwzględnić analizę techniczno-ekonomiczną.

WNIOSKI

Zaprezentowany w pracy komputerowy system diagnostyczny DIAG 2 złożonych obiektów technicznych pozwala zrealizować wszystkie etapy procesu diagnostycznego. W połączeniu z

systemem pomiarowym (kartą pomiarową) może stanowić dużą pomoc nie tylko w symulacji eksperymentów ale także jako ważny składnik procesu odnowy obiektów technicznych.

Przeprowadzony eksperyment diagnostyczny zademonstrowany na rysunkach, dotyczący układu sterowania silnikiem samochodowym „Motronic”, dał dobre wyniki. Na podstawie opracowanych wyników pomiarowych uzyskano końcową postać symulacji wyznaczoną przez system DIAG 2 dla 2,3 i 4-wartościowej logiki stanów (Rys. 3).

W ramach dalszych prac rozbudowa opisywanego systemu będzie postępowała w dwóch kierunkach, a mianowicie: sprzężeniu z kartami pomiarowymi firmy National Instruments (dostępny interfejs dla języka Java) oraz integracji z systemami wspomagającymi proces odnowy cech eksploatacyjnych obiektów technicznych np. program SERV.

Streszczenie

W poniższej pracy przedstawiono podejście diagnozowania stanów złożonych obiektów technicznych z wykorzystaniem logiki czterowartościowej. Scharakteryzowano stany obiektu technicznego, określono przedziały zmian stanów i zdefiniowano reguły wnioskowania przy rozpoznawaniu poszczególnych stanów. Zamieszczono również schemat klas w logice czterowartościowej oraz możliwe kierunki zmian stanów badanego obiektu technicznego. Dokonano porównania procesu diagnostycznego w logice dwu i trójwartościowej z logiką czterowartościową, w kontekście pozyskania informacji diagnostycznej oraz profilaktycznej obsługi technicznej określającej przeciętny czas bezawaryjnej pracy obiektu.

Słowa kluczowe: diagnostyka techniczna, metody wnioskowania, systemy diagnostyczne, ocena stanu w obiektach, rozpoznawanie stanu technicznego

The method of multi-valued logic inference in the diagnostic program DIAG 2

Abstract

The following paper presents an approach to diagnose complex states of technical objects using the four-state logic. Characterized states of the technical object, specified intervals and changes of states defined inference rules for identifying individual states. It also provides classes in logic diagram of tetravalent and possible directions of changes of states of the object technology. A comparison of the diagnostic process in two-and three-valued logic, the four-state logic, in the context of obtaining diagnostic information and preventive maintenance of determining the average lifetime of the objects.

Keywords: technical diagnostics, inference methods, diagnostic systems, assessment of the premises, the recognition of the state of a technical object

BIBLIOGRAFIA

1. Będkowski L., Elementy diagnostyki technicznej, WAT, Warszawa 1991.
2. Duer S., Zastosowanie sztucznej sieci neuronowej do diagnozowania analogowych obiektów technicznych, VIII KKN „SENE 2007”, Politechnik Łódzka, Łódź 2007, s. 527-532
3. Duer S.: Artificial Neural Network-based technique for operation process control of a technical object. Defence Science Journal, Vol. 59, No. 3, May 2009, pp. 305-313. <http://publications.drdo.gov.in/ojs/index.php/dsj>
4. Duer S.: Diagnostic system for the diagnosis of a reparable technical object, with the use of an artificial neural network of RBF type. Neural Computing & Applications, 2010, Vol. 19, No. 5, pp. 691-700.
5. Duer S., Duer R.: Diagnostic system with an artificial neural network which determines a diagnostic information for the servicing of a reparable technical object. Neural Computing & Applications, 2010, Vol. 19, No. 5, pp. 755-766.
6. Duer S.: Artificial neural network in the control process of object's states basis for organization of a servicing system of a technical objects. Neural Computing & Applications. 2012, Vol. 21, No. 1, pp. 153-160.
7. Duer S., Inteligentny system wspomagający proces odnawiania cech eksploatacyjnych w złożonych obiektach technicznych, Monografia nr 220, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2012

8. Duer S., Zajkowski K., Płocha I., Duer R.: Training of an artificial neural network in the diagnostic system of a technical object. *Neural Computing & Applications*. 2013, Vol. 22, No. 7, pp. 1581-1590.
9. Duer S., Zajkowski K.: Taking decisions in the expert intelligent system to support maintenance of a technical object on the basis information from an artificial neural network. *Neural Computing & Applications*. 2013, Vol. 23, No. 7, pp. 2185-2197.
10. Duer S., Zajkowski K., Duer R., Bernatowicz D., Wrzesień P.: Inteligentny system nadzoru i bezpieczeństwa dla farmy wiatrowej. *LOGISTYKA* 6/2014, s.3312-3321.
11. Korbicz J., *Diagnostyka procesów*, WNT, Warszawa 2002
12. Lindstedt P., *Praktyczna diagnostyka maszyn i jej teoretyczne podstawy*, Wyd. ASKON, Warszawa 2002
13. Niziński S., Pelc H., *Diagnostyka urządzeń mechanicznych*, WNT, Warszawa 1980
14. PN-93/N-50191-191: *Niezawodność i eksploatacja*, Warszawa 1993
15. XML Query Working Group and XSL Working Group: XQuery 1.0 and XPath 2.0 Data Model, W3C Working Draft 29 Oct 2004, <http://www.w3.org/TR/2004/WD-xpath-datamodel-20041029/>.