



Zastosowanie logiki czterowartościowej w procesie wnioskowania w systemach diagnostycznych

STANISŁAW DUER¹, KONRAD ZAJKOWSKI¹, RADOSŁAW DUER²

¹Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny,
75-620 Koszalin, ul. Raławicka 15-17, Stanislaw.duer@tu.koszalin.pl

²Politechnika Koszalińska, Wydział Elektroniki i Informatyki,
75-453 Koszalin, ul. Śniadeckich 2, rduer@wp.pl

Streszczenie. W artykule zaprezentowano zastosowanie logiki czterowartościowej w procesie wnioskowania w systemach diagnostycznych. W tym celu przedstawiono i zdefiniowano strukturę inteligentnego systemu diagnostycznego DIAG 2. Opisano jego istotne moduły: pomiarowy, obliczenia i analizy (program sieci neuronowej) oraz wnioskowania diagnostycznego. W literaturze brakuje opracowań w zakresie opisu i zastosowania logiki czterowartościowej w systemach diagnostycznych. Prace autorów w tym zakresie są nowatorskie. Na uwagę zasługuje także zaprezentowanie metody diagnostycznej stosowanej w systemie DIAG 2. Proponowana metoda diagnozowania (oceny stanu badanego obiektu) polega na porównaniu wektorów sygnałów diagnostycznych z ich wektorami wzorcami. W wyniku porównania sygnałów wyznaczane są przez sieć neuronową elementarne metryki rozbieżności wektorów sygnałów diagnostycznych. Na podstawie metryk odległości różnicowej następuje wnioskowanie systemu co do rozpoznania stanu elementów podstawowych obiektu.

Słowa kluczowe: diagnostyka techniczna, wnioskowanie diagnostyczne, logiki wielowartościowe, sztuczna inteligencja

DOI: 10.5604/12345865.1210605

1. Wstęp

W przypadku organizacji działań obsługowych obiektu ważne znaczenie ma rozpoznanie stanów uprzedzających wystąpienie stanu niezdatności, dlatego zastosowanie logiki dwuwartościowej stało się niewystarczające [1, 2-7, 8-13]. Coraz

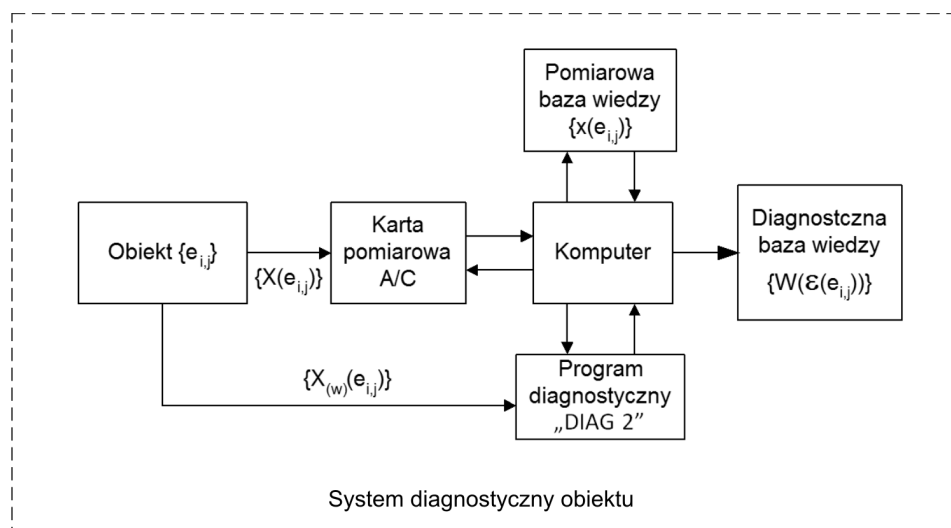
szerzej zaczęto w diagnostyce stosować logikę trójwartościową opracowaną przez J. Łukaszewicza [2-7]. Autor w pracach [2-13] przedstawił swoje osiągnięcia, które znacząco wzbogacają rozwiązania diagnostyki obiektów technicznych w zakresie wnioskowania w logice trójwartościowej. Stosowana w niej klasyfikacja stanów oprócz stanu zdatności „2” i niezdatności „0” wyróżnia stan zdatności częściowej (niepełnej zdatności) „1”. W literaturze [2-7] wykazano, że wprowadzenie dodatkowego stanu pozwala na zwiększenie możliwej do uzyskania pełniejszej informacji diagnostycznej. Problem ten jest szczególnie ważny w kontekście realizacji obsługi technicznego obiektów. Można także stwierdzić, że ten dodatkowy zysk informacji diagnostycznej zwiększa również przeciętny czas bezawaryjnej pracy obiektu.

Diagnostyka techniczna jest nie tylko działaniem samym z sobą, ale ma świadczyć usługi na korzyść wspomagania organizacji efektywnych systemów obsługi obiektów poprzez wypracowane decyzje o stanie obiektu. Wcześniejsze rozwiązania stosowane w diagnostyce technicznej wykorzystywały logikę dwuwartościową, w której „1” określa stan zdalny, a „0” niezdatny. Celem tego rodzaju diagnozowania jest tylko rozpoznanie stanu zdalności lub niezdatności (awarii). Strategia organizacji procesu eksploatacji według stanu na bazie diagnoz w logice dwuwartościowej jest mało efektywna. Niemożliwe jest zatem planowanie terminu wykonania obsługi na podstawie rozpoznanego stanu, ponieważ dla stanu „1” — stanu zdalności, nie organizuje się odnawiania. W literaturze przedstawia się, że w takiej sytuacji termin obsługi jest wykonywany według „resursu”, to jest dla określonego przedziału czasu, który jest dla danej klasy obiektów wyznaczany na podstawie badań niezawodnościowych lub empirycznych. W ramach systemu obsługi obiektu odnawianiu poddawane są wszystkie jego elementy konstrukcyjne. Zakres odnawiania dotyczy odnowy pełnej, zatem koszty takiej strategii obsługi są wysokie. Koszty obsługi są zwiększane przez czas nieprodukcyjny, czas „przeastoju” — czas, w którym obiekt nie realizuje swoich zadań ze względu na czas jego obsługi. Można przypuszczać, że wartościowości logik ($k > 2$) będą bardziej efektywne ze względu na informacyjność diagnoz, które będą wspomagać organizację systemu obsługi obiektów technicznych.

2. Struktura inteligentnego systemu diagnostycznego monitorującego stan obiektu technicznego

Jeżeli obiekt użytkowany jest na bieżąco i ciągle diagnozowany, to będzie możliwe podjęcie w nim czynności naprawczych (odnawiających) dla rozpoznanego itp. stanu niepełnej zdalności lub stanu niezdatności. Jeżeli znamy lub możemy określić czas ich wystąpienia, to tym samym wiemy dokładnie, kiedy (w jakim czasie) należy obiekt poddać odnowie. Takie podejście (stosowanie strategii odnowy) jest rozwiązaniem podstawowego problemu w układzie regulacji — odtwarzania

zasobu jego funkcjonowania, jakim jest zespół automatycznego rozpoznawania stanów obiektu i jego elementów konstrukcyjnych przedstawiony na rysunku 1. Struktura inteligentnego systemu diagnostycznego monitorującego stan procesu techniczno-technologicznego to złożony układ rozwiązań technicznych i programowych. Współczesny system diagnostyczny (rys. 1) to nie tylko karta pomiarowa i poprawnie dobrany tor pomiarowy, lecz przede wszystkim wszelkie narzędzia informatyczne. Programy informatyczne służą do poprawnej rejestracji sygnałów, ich przetwarzania i analizy oraz zestawiania pomiarowej bazy wiedzy (zmierzonych wielkości).



Rys. 1. Schemat strukturalny układu diagnostycznego w programie DIAG 2 [7]

Na potrzeby układu diagnostycznego rozpoznającego stany w badanym obiekcie opracowano system diagnostyczny (rys. 1). Istotnymi elementami inteligentnego systemu diagnostycznego są:

- struktura pomiarowa badanego obiektu, uzyskana w wyniku analizy funkcjonalno-diagnostycznej. Efektem tej analizy jest wyznaczony zbiór elementów obiektu (modułów) $\{e_i, j\}$, to jest takich elementów na wyjściu, w których występują sygnały wyjściowe (pomiarowe) i zbiór wyróżnionych sygnałów pomiarowych (diagnostycznych) $\{X(e_i, j)\}$,
- moduł diagnostyczny — to zespół urządzeń pomiarowych tego systemu zapewniający za pomocą interfejsu pomiarowego dostosowywanie zakresu mierzonych sygnałów do poziomu karty pomiarowej,
- karta pomiarowa — specjalistyczne urządzenie pomiarowe dokonujące pomiaru wartości sygnałów pomiarowych (diagnostycznych) $\{X(e_i, j)\}$,

- oprogramowanie karty pomiarowej to wyspecjalizowany program komputerowy sterujący pracą karty pomiarowej, jej efektem jest pomiarowa baza wiedzy ekspertowej $\{W(\varepsilon(ei, j))\}$, która zestawiona może być w postaci tablicowej [4, 17],
- specjalistyczne oprogramowanie diagnostyczne wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe DIAG 2 przystosowane do wnioskowania w logikach wielowartościowych: dwu-, trój- i czterowartościowej.

Zadaniem systemu diagnostycznego jest realizacja zadania porównywania obrazu wektora sygnału diagnostycznego z obrazem jego wektora sygnału wzorcowego (nominalnego). W tym celu wygodnie jest przedstawić obrazy porównywanych sygnałów diagnostycznych w postaci wektorowej (rys. 1). Postać analityczną równania diagnostycznego, opisującego proces diagnozowania obiektów technicznych (rys. 1) wykonywany metodą porównywania sygnałów z ich wzorcem, przedstawiono w postaci zależności:

$$\forall_{e_{i,j} \in \{E_i\}} \exists_{X(e_{i,j}) \in X} (X(e_{i,j}) \mapsto X_{(w)}(e_{i,j})) \Rightarrow W(\varepsilon(e_{i,j})) \quad (1)$$

gdzie: $X_{(w)}(\varepsilon(e_{i,j}))$ — wzorcowy sygnał diagnostyczny dla j -tego elementu w i -tym zespole, $X(e_{i,j})$ — sygnał diagnostyczny na wyjściu j -tego elementu w i -tym zespole obiektu, $W(\varepsilon(e_{i,j}))$ — wartość wynikowa porównania sygnału dla j -tego elementu w i -tym zespole obiektu, \forall — kwantyfikator ogólny, \exists — kwantyfikator szczegółowy, \mapsto — relacja porównywania, \Rightarrow — relacja wynikania.

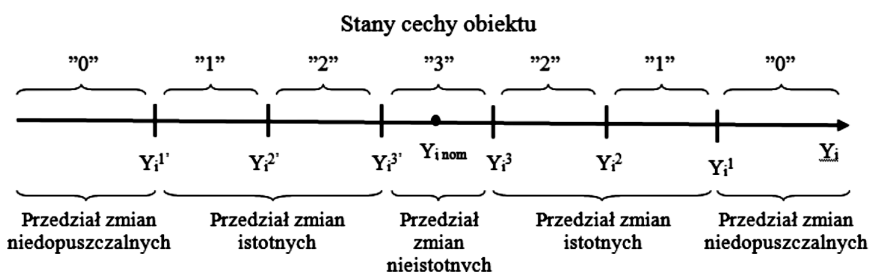
Na podstawie tej zależności można powiedzieć, że na wyjściu każdego j -tego elementu znajdującego się w i -tym zespole obiektu $e_{i,j}$ istnieje sygnał diagnostyczny $X(e_{i,j})$, który jest porównywany z właściwym mu sygnałem wzorcowym. Efektem tego działania diagnostycznego jest wynik sprawdzenia $D_i(\varepsilon(e_{i,j}))$ — wartość wynikowa porównania sygnału j -tego elementu w i -tym zespole obiektu. Jeżeli w dalszym etapie diagnozowania każdemu uzyskanemu wynikowi sprawdzenia diagnostycznego przypisze się określoną wartość logiczną stanu, wówczas dane sprawdzenie diagnostyczne obiektu można przedstawić w postaci tablicy diagnoz (tablicy stanów).

3. Wnioskowanie w czterowartościowej logice oceny stanów

Jeżeli w procesie diagnozowania obiektu technicznego zapewnione będzie podanie nominalnych wartości cech sygnałów wejściowych, to na wyjściu obiektu uzyskamy wartość sygnału charakteryzującą jego stan. Badanie sygnału wyjściowego Y_i polega na pomiarze jego cech i porównaniu wyniku pomiaru badanego z cechą sygnału wzorcowego $Y_{(w),i}$. Zamiast porównywać sygnał wyjściowy z wzorcem, znacznie prościej jest sprawdzić, czy wartości sygnałów diagnostycznych

mieszczą się w ich zakresie zmian dopuszczalnych. Przedziały zmian wartości cechy i -tego sygnału diagnostycznego dla logiki czterowartościowej przedstawiono na rysunku 2. Wyróżniono w nim trzy przedziały zmian, a mianowicie:

- przedział zmian nieistotnych sygnału (Y_i^3, Y_i^3) określający stan cechy obiektu na poziomie „3”,
- przedział zmian istotnych sygnału $(Y_i^{1'}, Y_i^{3'}) \cup (Y_i^3, Y_i^1)$ określający stan cechy obiektu na poziomie „1” lub „2”,
- przedział zmian niedopuszczalnych sygnału, $(-\infty, Y_i^{1'}) \cup (Y_i^1, +\infty)$ wskazujący stan cechy obiektu na poziomie „0”.



Rys. 2. Przedziały zmian wartości cechy i -tego sygnału diagnostycznego

Wyznaczone w procesie diagnozowania podzbiory elementu e_i dla czterowartościowej oceny stanów obiektu określono na podstawie analizy logiki trójwartościowej [2-7] oraz stanów obiektu określonych w polskich normach dotyczących niezawodności i jakości obsługi [4].

Stany obiektu oraz przypisane im przedziały w logice czterowartościowej definiujemy następująco:

- **stan zdatości** oznaczony wartością „3”, określa taki stan obiektu, w którym realizuje on zadania zgodnie z przeznaczeniem, przy założeniu, że wartości cech sygnałów wejściowych znajdują się w przedziałach zmian dopuszczalnych Y_j . W tym stanie obiektu wartości cech sygnału Y_i mieszczą się w przedziale nazwanym przedziałem zmian nieistotnych określanych następującą zależnością:

$$R_{w1} : \bigwedge_{Y_k \in Y} \left\{ Y_k \in (Y_i^3, Y_i^3) \right\} \Rightarrow (\varepsilon_i = \varepsilon_i^3) = \{3\}, \quad (2)$$

gdzie: R_{w1} — pierwsza reguła wnioskowania diagnostycznego, (Y_i^3, Y_i^3) — przedział zmian nieistotnych wartości cech sygnału, $\{3\}$ — stan zdatości;

- **stan niepełnej zdatości** oznaczony wartością „2”, określa stan obiektu posiadającego zdolność do niepełnego wykonania zadania, przy założeniu, że sygnały wejściowe znajdują się w przedziałach zmian dopuszczalnych

wartości cech sygnałów X_j . W tym stanie zmiana wartości przynajmniej jednej cechy sygnału Y_i musi mieścić się w przedziale nazwanym przedziałem zmian istotnych określanych następującą zależnością:

$$R_{w2} : \bigvee_{Y_k \in Y} \left\{ Y_k \in (Y_i^2, Y_i^3) \cup (Y_i^2, Y_i^3) \right\} \Rightarrow (\varepsilon_i = \varepsilon_i^2) = \{2\}, \quad (3)$$

gdzie: R_{w2} — druga reguła wnioskowania diagnostycznego, $(Y_i^2, Y_i^3) \cup (Y_i^2, Y_i^3)$ — przedział zmian istotnych wartości cech sygnału, $\{2\}$ — stan niepełnej zdatności;

- **stan krytycznej zdatności** oznaczony wartością „1”, określa stan obiektu charakteryzujący się zdolnością do wypełniania niektórych, lecz nie wszystkich jego funkcji, przy założeniu, że sygnały wejściowe znajdują się w przedziałach zmian dopuszczalnych wartości cech sygnałów Y_j . W tym stanie zmiana wartości przynajmniej jednej cechy sygnału Y_i musi mieścić się w przedziale nazwanym przedziałem zmian krytycznych określanych następującą zależnością:

$$R_{w3} : \bigvee_{Y_k \in Y} \left\{ Y_k \in (Y_i^1, Y_i^2) \cup (Y_i^2, Y_i^1) \right\} \Rightarrow (\varepsilon_i = \varepsilon_i^1) = \{1\}, \quad (4)$$

gdzie: R_{w3} — trzecia reguła wnioskowania diagnostycznego, $(Y_i^1, Y_i^2) \cup (Y_i^2, Y_i^1)$ — przedział zmian krytycznych wartości cech sygnału, $\{1\}$ — stan krytycznej zdatności;

- **stan niezdatności** oznaczony wartością „0”, określa stan obiektu posiadającego całkowitą niezdolność do wykonywania swoich zadań, przy założeniu, że sygnały wejściowe znajdują się w przedziałach zmian dopuszczalnych wartości cech sygnałów Y_j . W tym stanie zmiana wartości przynajmniej jednej cechy sygnału Y_i musi mieścić się w przedziale nazwanym przedziałem zmian niedopuszczalnych określanych następującą zależnością:

$$R_{w4} : \bigvee_{Y_k \in Y} \left\{ Y_k \in (-\infty, Y_i^1) \cup (Y_i^1, +\infty) \right\} \Rightarrow (\varepsilon_i = \varepsilon_i^0) = \{0\}, \quad (5)$$

gdzie: R_{w4} — czwarta reguła wnioskowania diagnostycznego $(-\infty, Y_i^1) \cup (Y_i^1, +\infty)$ — przedział zmian niedopuszczalnych wartości cech sygnału, $\{0\}$ — stan niezdatności.

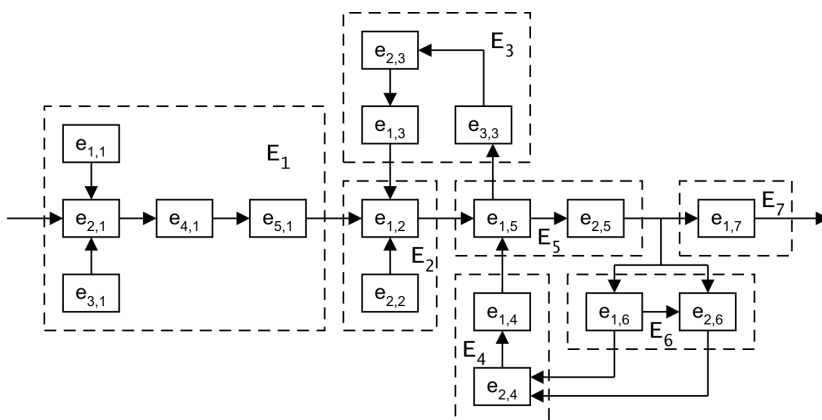
Logika czterowartościowa, podobnie jak logika trójwartościowa, jest szczególnym przypadkiem logiki k -wartościowej (rys. 2). Charakteryzuje się ona tym, że jej funkcje i argumenty mogą przyjmować jedną z czterech wartości określanych przez symbole $\{3, 2, 1, 0\}$. Wprowadzenie więc do diagnostyki technicznej czterowartościowej oceny stanów prowadzi do realizacji procesu diagnozowania, w którym przyporządkowujemy rzeczywistemu stanowi badanego obiektu jeden stan z następującego zbioru stanów [2-13]:

- $\{3\}$ — zbiór stanów zdatności, w których obiekt posiada pełną zdolność do wykonywania swoich zadań zgodnie z przeznaczeniem, a zmiana wartości przynajmniej jednej cechy sygnału musi mieścić się w przedziale zmian nieistotnych,
- $\{2\}$ — zbiór stanów niepełnej zdatności, w których obiekt posiada zdolność do wykonywania zadań w ograniczonym zakresie, a zmiana wartości przynajmniej jednej cechy sygnału musi mieścić się w przedziale zmian istotnych,
- $\{1\}$ — zbiór stanów krytycznej zdatności, w których obiekt posiada zdolność do wykonywania zadań w ograniczonym zakresie, a zmiana wartości przynajmniej jednej cechy sygnału musi mieścić się w przedziale zmian krytycznych. Jest to stan poprzedzający uszkodzenie i wymagający podjęcia czynności profilaktycznych odnawiających obiekt,
- $\{0\}$ — zbiór stanów niezdatności, w których obiekt utracił zasób funkcjonowania i nie jest zdolny do wykonywania zadań zgodnie z przeznaczeniem. W tym stanie zmiana wartości przynajmniej jednej cechy sygnału musi mieścić się w przedziale zmian niedopuszczalnych.

4. Struktura funkcjonalno-diagnostyczna obiektu badania

Podstawą badań diagnostycznych urządzeń technicznych są modele funkcjonalno-diagnostyczne tych obiektów [8-16, 19]. Stąd na potrzeby tego artykułu opracowano schemat funkcjonalno-diagnostyczny systemu elektrowni wiatrowej. Opracowany model badanego obiektu jest podstawą do wyznaczenia zbioru sygnałów diagnostycznych oraz jego sygnałów wzorcowych. Schemat funkcjonalno-diagnostyczny badanego obiektu przedstawiono na rysunku 3.

W wyniku analizy funkcjonalno-diagnostycznej wyróżniono w obiekcie siedem zespołów funkcjonalnych. W każdym z zespołów wyznaczono podzbiór jego elementów funkcjonalnych oraz na ich wyjściach zidentyfikowano sygnały diagnostyczne tworzące zbiór sygnałów diagnostycznych $\{X(E_i)\}$, których pełny zbiór zestawiono w tabeli (tab. 1).



Rys. 3. Schemat funkcjonalno-diagnostyczny elektrowni wiatrowej, gdzie: E₁ — układ napędu generatora, E₂ — układ generatora synchronicznego, E₃ — układ magnetyczny generatora, E₄ — układ regulatora mocy, E₅ — układ przekształtnika energii elektrycznej, E₆ — zespół przekształtnika współrzędnych napięcia i prądu, E₇ — zespół transformatora SN

TABELA 1

Wykaz zespołów funkcjonalnych i zbiór elementów podstawowych badanego obiektu wyznaczonych w opracowaniu diagnostycznym

Zespoły obiektu		Elementy podstawowe obiektu	
Symbol	Opis	Symbol	Opis
E1	układ napędu generatora	e1,1	zespół stabilizacji wału turbiny
		e1,2	przekładnia główna
		e1,3	układ regulacji temperatury przekładni
		e1,4	sprzęgło
		e1,5	hamulec generatora
E2	układ generatora synchronicznego	e2,1	generator synchroniczny
		e2,2	układ regulacji temperatury generatora
E3	układ magnetyczny generatora	e3,1	uzwojenie magnetyczny
		e3,2	układ regulacji napięcia wzbudzenia
		e3,3	układ dopasowania
E4	układ regulatora mocy	e4,1	zespół PWM falownika
		e4,2	regulator mocy generatora
E5	układ przekształtnika energii elektrycznej	e5,1	prostownik sterowany
		e5,2	falownik
E6	zespół przekształtnika współrzędnych napięcia i prądu	e6,1	zespół przekształtnika współrzędnych napięcia UA, UB, UC
		e6,2	zespół przekształtnika współrzędnych prądu IA, IB, IC
E7	zespół transformatora SN	e7,1	zespół transformatora SN

Do badania stanu użytkowania elektrowni wiatrowej został wykorzystany specjalistyczny program diagnostyczny (komputerowy) (DIAG 2) pracujący z zastosowaniem sztucznej sieci neuronowej (SSN). Badanie stanu obiektu jest przedstawione w literaturze [2-13]. Polega ono na porównaniu cech wyróżnionych sygnałów diagnostycznych z ich wzorcami, by na podstawie wyznaczonych różnicowych metryk odległości przeprowadzić wnioskowanie i wyznaczyć stan badanego elementu, zespołu i całego obiektu.

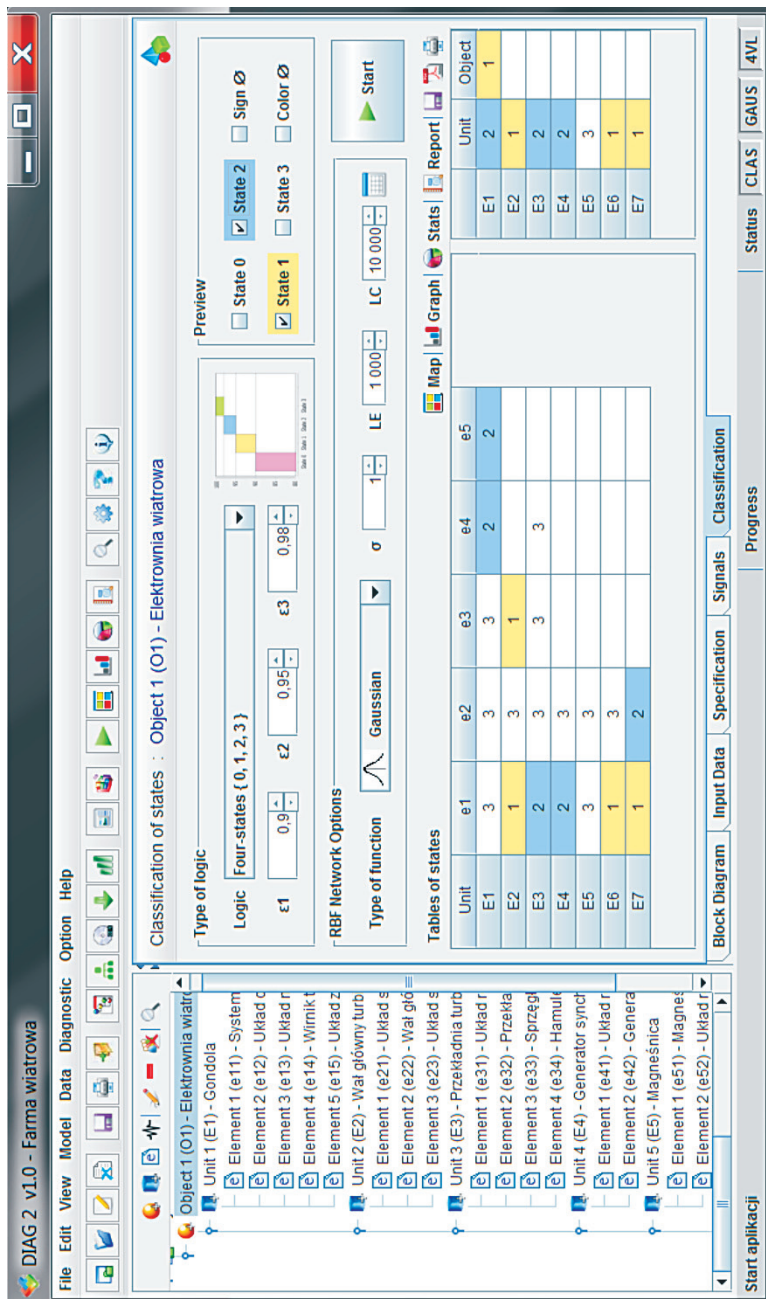
5. System diagnostyczny (DIAG 2) monitorujący stan użytkowania generatora synchronicznego elektrowni wiatrowej

Wykorzystanie programu DIAG 2 w procesie diagnozowania wymaga przygotowania w odpowiedniej postaci wejściowej informacji diagnostycznej. Dlatego elementy podstawowe — moduły znajdujące się w zespołach obiektu i w jego modelu funkcjonalno-diagnostycznym muszą być „adresowane” w następujący sposób ($e_{i,j}$), gdzie: (j) — jest numerem elementu w danym zespole, a (i) jest i -tym numerem tego zespołu obiektu. Wprowadzenie danych wejściowych do programu może odbywać się w sposób ręczny z klawiatury lub automatycznie w sposób bezpośredni z systemu pomiarowego (karty pomiarowej). Program jest tak opracowany, że można w nim w dowolnym czasie dokonywać korekty wymiarów struktury badanego obiektu, w tym zmiany liczby zespołów, czy też liczby elementów podstawowych (modułów) w danym zespole (rys. 4).

Uzyskane rezultaty procesu diagnozowania w inteligentnym systemie diagnostycznym DIAG 2 mogą być przedstawione w różnej dogodnej formie graficznej. Podstawową postacią uzyskanej informacji diagnostycznej w programie DIAG 2, którą przedstawiono na rysunku 4, jest „Tablica stanów” obiektu. Możliwe do zobrazowania są też inne graficzne postacie informacji końcowej, np. wykresy, histogramy i raporty. Połączenie poszczególnych form prezentacji pozwala na dokładniejszą analizę lub efektywniejsze porównanie wyników końcowej informacji diagnostycznej dla różnych k -tych wartościowości zastosowanej logiki oceny stanów.

Na rysunku 4 przedstawiono końcową postać informacji diagnostycznej w logice czterowartościowej o stanach badanego obiektu, w którego strukturze wewnętrznej wyróżniono 20 j -tych elementów podstawowych (modułów) znajdujących się w i -tych zespołach funkcjonalnych. Z analizy rysunku 4 wynika, że elementy podstawowe z podzbioru $\{e_{1,1}; e_{1,2}; e_{1,3}; e_{3,2}; e_{3,3}; e_{3,3}; e_{3,4}; e_{2,2}; e_{4,2}; e_{5,1}; e_{5,2}; e_{6,2}\}$ posiadają stan „3” — zdatności. Procentowy udział j -tych elementów w i -tych zespołach obiektu o stanie zdatności w strukturze badanego obiektu stanowi 55%. Natomiast następujące badane elementy podstawowe z podzbioru $\{e_{1,4}; e_{1,5}; e_{3,1}; e_{4,1}; e_{7,2}\}$ posiadają stan „2” — niepełnej zdatności. Procentowy udział tych j -tych elementów o stanie niepełnej zdatności w strukturze badanego obiektu stanowi 25%. Pozostałe badane podzbiory elementów podstawowych ze zbioru $\{e_{2,1}; e_{2,3}; e_{6,1}; e_{7,1}\}$ posiadają stan „1” — krytycznej zdatności. Procentowy udział tych j -tych elementów o stanie

krytycznej zdadności w strukturze badanego obiektu stanowi 20%. W badanym obiekcie nie ma elementów o stanie „0” — niezdatności.



Rys. 4. Postać wyników programu „DIAG 2” Tablica stanów procesu nadzoru i bezpieczeństwa dla farmy wiatrowej, gdzie: {3} — zbiór stanów zdadności, {2} — zbiór stanów niepełnej zdadności, {1} — zbiór stanów krytycznej zdadności, {0} — zbiór stanów niezdatności

Logika czterowartościowa, podobnie jak logika trójwartościowa, jest szczególnym przypadkiem logiki k -wartościowej. Charakteryzuje się ona tym, że jej funkcje i argumenty mogą przyjmować jedną z czterech wartości określanych przez symbole $\{0, 1, 2, 3\}$. Podobnie jak dla logiki dwu- i trójwartościowej, obszar określoności dowolnej funkcji czterowartościowej jest ograniczony (4^n zestawów wartości argumentów przy $n = 2, 3, 4$). Wprowadzenie dodatkowego stanu niezawodnościowego (technicznego) charakteryzującego obiekt techniczny w logice czterowartościowej zwiększa dostępną informację diagnostyczną. Uzyskana w ten sposób informacja pozwala dokładniej określić czas wystąpienia stanu zdatności krytycznej w obiekcie (stan przeduszkodzeniowy). Zidentyfikowanie tego stanu dodatkowo pozwala na dokładniejsze określenie czasu wystąpienia w obiekcie rozregulowań, rozstrojeń, zaniżenia wartości parametrów obiektu, które możliwe są do usunięcia za pomocą prostych regulacji w procesie obsługi. Rozpoznanie jednego ze stanów częściowej lub krytycznej zdatności, należących do tego przedziału, powinno skutkować podjęciem decyzji o przeprowadzeniu odnowy technicznej.

Praca finansowana z Projektu Badawczego Statutowego nr 504.02.12.

Artykuł opracowany na podstawie referatu wygłoszonego na XXIX Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Ekomilitaris 2015” „Inżynieria bezpieczeństwa — ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń” Zakopane 15-18.09.2015 r.

Artykuł wpłynął do redakcji 11.04.2016 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 28.04.2016 r.

LITERATURA

- [1] BĘDKOWSKI L., DĄBROWSKI T., *Podstawy eksploatacji, cz. II. Podstawy niezawodności eksploatacyjnej*, Wyd. WAT, Warszawa, 2006, s. 187.
- [2] DUER S., *Artificial Neural Network-based technique for operation process control of a technical object*, Defence Science Journal, DESIDOC, vol. 59, no. 3, May 2009, pp. 305-313.
- [3] DUER S., *System ekspertowy, ze sztuczną siecią neuronową obsługujący zestaw stacji radiolokacyjnej*, VII Krajowa Konferencja Inżynierii Wiedzy i Systemów Ekspertowych, Politechnika Wroclawska, 23-25 czerwiec, Wrocław, 2009, s. 377-388.
- [4] DUER S., *Inteligentny system wspomagający proces odnawiania cech eksploatacyjnych w złożonych obiektach technicznych*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2012, s. 242.
- [5] 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, vol. 21, no. 1, 2012, pp. 153-160.
- [6] DUER S., *Applications of an artificial intelligence for servicing of a technical object*, Neural Computing & Applications, vol. 22, no. 5, 2013, pp. 955-968.
- [7] 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, vol. 22, no. 7, 2013, pp. 1581-1590.
- [8] DUER S., ZAJKOWSKI K., DUER R., BERNATOWICZ D., WRZESIEŃ P., *Inteligentny system nadzoru i bezpieczeństwa dla farmy wiatrowej*, Logistyka, 6, 2014, s. 3312-3321.

- [9] DUER S., BERNATOWICZ D., DUER R., *Wykorzystanie logiki czterowartościowej w komputerowym programie diagnostycznym DIAG 2*, Logistyka, nr 3, 2015, s. 1008-1116.
- [10] DUER S., BERNATOWICZ D., DUER R., *Metoda wnioskowania w logice wielowartościowej w programie diagnostycznym DIAG 2*, Logistyka, nr 3, 2015, s. 1100-1108.
- [11] DUER S., ZAJKOWSKI K., SOKOŁOWSKI S., PÁLKOVÁ Z., LUKÁČ O., *Przygotowanie informacji diagnostycznej o badanym obiekcie technicznym na potrzeby procesu diagnozowania w logice wielowartościowej*, Logistyka, nr 3, 2015, s. 1132-1140.
- [12] DUER S., ZAJKOWSKI K., WRZESIEŃ P., DUER R., *Diagnostyka użytkownika urządzeń elektrowni wiatrowej*, Logistyka, nr 3, 2015, s. 1140-1148.
- [13] DUER S., WRZESIEŃ P., DUER R., *Projekt systemu ekspertowego wspomagającego użytkownika elektrowni wiatrowej*, Logistyka, nr 3, 2015, s. 1116-1124.
- [14] Instrukcja obsługi siłowni wiatrowej Nordex klasy K08 gamma.
- [15] LUBOŃNY Z., *Automatyka zabezpieczeniowa farm wiatrowych*, Wydawnictwo WNT, Warszawa, 2014.
- [16] LUBOŃNY Z., *Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym*, Wydawnictwo WNT, Warszawa, 2013.
- [17] MADAN M. GUPTA, LIANG JIN AND NORIYASU H., *Static and Dynamic Neural Networks, From Fundamentals to Advanced Theory*, John Wiley and Sons, Inc., 2003, p. 718.
- [18] MARKIEWICZ H., *Urządzenia elektroenergetyczne*, Wydawnictwo WNT, Warszawa, 2012.
- [19] Nordex, *Opis techniczny turbiny wiatrowej klasy gamma*.

S. DUER, K. ZAJKOWSKI, R. DUER

Application of logic 4-valued in the process of reasoning in diagnostic systems

Abstract. The article presents application of logic 4-valuable in the process of reasoning in diagnostic systems. For this purpose, the structure of an intelligent diagnostic system (DIAG 2) is presented and defined. Its essential modules: measurement, calculation, and analysis modules (program of neural network) and diagnostic inference are described. In the literature, there is no development in the field of description and implementation of the logic of the tetravalent in diagnostic systems. The author's works in this field are innovative ones. Noteworthy is the present diagnostic method used in the system (DIAG 2). The proposed diagnostic method (assessment of the state of the examined object) is based on a comparison of vectors of diagnostic signals with their patterns' vectors. By comparing the signals, elementary metrics of disparity vectors of diagnostic signals are determined by the neural network. On the basis of the metrics of differential distance, the system requests for diagnostics of the state of elements of the basic object.

Keywords: technical diagnostics, diagnostic reasoning, multivalent logic, artificial intelligence

DOI: 10.5604/12345865.1210605