

PIOTR TOMASIK*

Metody identyfikacji modeli procesów wolnozmiennych na potrzeby diagnostyki technicznej

Słowa kluczowe

Modelowanie procesów, aproksymacja przebiegów, miary podobieństwa, diagnostyka procesów przemysłowych, wnioskowanie bazujące na przykładach (CBR).

Key-words

Process modeling, methods of approximation, measures of similarity, diagnostic of industrial processes, Case-Based Reasoning (CBR).

Streszczenie

W referacie przedstawiono metody bazujące na prostych sposobach przetwarzania danych pochodzących ze złożonego wolnozmiennego procesu przemysłowego o charakterze cyklicznym, w wyniku zastosowania których można byłoby otrzymać modele tych procesów. Opisano potrzebę opracowania tych metod oraz założenia jakie przyjęto dla ich zdefiniowania. Przedstawiono zaproponowane proste miary wyznaczania podobieństw cykli, wybrane wyniki wyszukiwania podobnych cykli oraz wnioski.

1. Wstęp

Dane zgromadzone podczas monitorowania przebiegu złożonych procesów przemysłowych o cyklicznym charakterze mogą być nośnikiem informacji o sposobie sterowania tymi procesami. Dane te są pozyskiwane za pomocą różnych czujników (pomiar mocy, prądów, temperatur) oraz bezpośrednio od obsługi danego urządzenia (sposobem o stanie maszyn i prawidłowości stero-

* Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, e-mail: ptomasik@polsl.pl, tel.: (032) 2371876.

wania procesem) są gromadzone w bazach danych archiwalnych. Sterowanie złożonym procesem może być prowadzone w pętli otwartej przez operatorów procesu, a jakość prowadzenia procesu zależy wówczas w znacznym stopniu od ich wiedzy i doświadczenia. Nie zawsze też jest określona dostatecznie sformalizowana procedura prowadzenia takiego procesu. Osoby obsługujące proces nie potrafią przekazać swojej wiedzy w sposób, który pozwalałby zidentyfikować taką procedurę optymalnego sterowania obiektem/procesem. Można przyjąć, że każdy operator posiada własną drogę postępowania, która różni się od sposobu postępowania innych operatorów procesu.

Dodatkowe zadania realizowane przez operatorów podczas sterowania obejmują przestrzeganie określonych zakresów poszczególnych parametrów, których przekroczenie zarówno dla wartości, jak i czasu trwania takiego stanu może bardzo niekorzystnie wpływać na stan danego obiektu przemysłowego i/lub spowodować niekorzystny wpływ na pozostałe obiekty tworzące ciąg produkcyjny. Podczas trwania cyklu produkcyjnego wymagane jest zachowanie synchronizacji pomiędzy poszczególnymi obiektami procesu, co wynika z ciągłego przepływu materii pomiędzy tymi obiektami.

W wyniku przeglądu istniejącego stanu w zakresie metod modelowania procesów wolnozmiennych stwierdzono, że przydatne do modelowania takich procesów mogą być metody bazujące na prostych sposobach przetwarzania danych. Zaproponowano nowe metody modelowania procesów reprezentowanych za pomocą wielowymiarowych szeregów czasowych. Metody te bazują na miarach odległości (bezwzględnych i względnych) oraz sekwencjach znakowych stosowanych do wyznaczania stopnia podobieństwa pomiędzy poszczególnymi realizacjami procesu. Uzyskane modele poszczególnych cykli procesu mają charakter globalny. Mogą być one wykorzystane w rozumowaniu opartym na przykładach (ang. Case-Based Reasoning, CBR).

Opracowane metody zostały szczegółowo opisane w [1]. W referacie przedstawiono opis jedynie metody bazującej na bezwzględnej odległości euklidesowej w celu przybliżenia ogólnego schematu postępowania podobnego w przypadku wszystkich opracowanych metod. W głównej mierze skupiono się na przedstawieniu wyników weryfikacji opracowanych metod dla danych pochodzących z rzeczywistego obiektu technicznego.

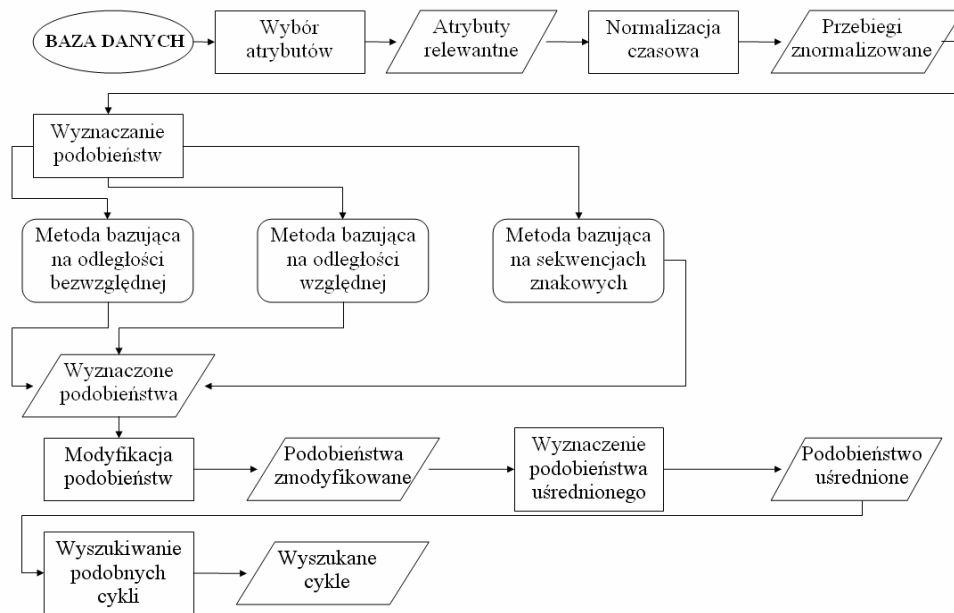
2. Metody pozyskiwania wiedzy z bazy danych procesowych

Przy opracowaniu metod pozyskiwania wiedzy przyjęto, że wejściem procesu pozyskiwania wiedzy są odpowiednio liczne dane, mogące być nośnikiem informacji o niektórych wejściach (w tym sterowaniach), stanach i wyjściach procesu. Opisywane obiekty lub procesy winny charakteryzować się pewnymi określonymi cechami. Proces powinien być sterowalny i mieć charakter cykliczny. Cykle mogą składać się z faz, których liczba przypadająca na pojedynczy

cykl jest dowolna. Za pomocą opracowanych metod można identyfikować modele na podstawie całych cykli, jak i w rozbiciu tych cykli na fazy. Konieczne jest, aby liczba tych faz była taka sama dla każdego badanego cyklu. Czasy trwania poszczególnych faz cykli lub całych cykli mogą być różne. Liczba atrybutów opisujących sposób sterowania obiektem lub procesem może być znaczna (atrybuty do badań wybiera się na podstawie ich klasyfikacji). Ze względu na dane konieczne jest, aby istniał zbiór atrybutów opisujących wejścia i wyjścia obiektu lub procesu, w postaci danych zgromadzonych w bazie danych archiwalnych. Dane dotyczące sterowań, stanów i wyjść reprezentowane są w postaci szeregów czasowych dyskretyzowanych wartości o stałym, ustalonym kroku dyskretyzacji. Dopuszczalne jest występowanie typowych błędów w szeregach czasowych, jak: przekłamanie pojedynczych wartości, brak wartości atrybutu itp. W celu zastosowania opracowanych metod konieczne jest pozyskanie odpowiednio licznego i kompletnego zbioru danych archiwalnych.

Dla atrybutów procesowych wybranych do badań zmiana wartości atrybutu niezależnego powinna powodować proporcjonalnie dużą zmianę wartości atrybutu zależnego w podobnym okresie. Do badań z zastosowaniem opracowanych metod można wybrać atrybuty z różnych klas parametrów procesowych (np. parametry elektryczne, wartości temperatur, wartości ciśnień).

Na rysunku 1 przedstawiono metodykę modelowania zastosowaną dla opracowanych metod.



Rys. 1. Opracowana metodyka modelowania
Fig. 1. Methodics of work out process modeling

3. Sposób normalizacji czasowej przebiegów ciągłych parametrów procesowych

Normalizacja czasowa dotyczy sposobu rozwiązania problemu związanego z koniecznością porównywania cykli lub faz cykli o różnych czasach trwania. W przypadku rozpatrywania cykli złożonych z powtarzających się faz zaproponowano, że normalizacja czasowa będzie dotyczyła cząstkowych faz poprzez wyznaczenie przyjętego parametru podziałki dla każdej z faz na podstawie poniższej zależności:

$$\text{Podz}T^n(j,k) = \frac{T^n(j)}{T^n(k)} \quad (1)$$

gdzie:

- k – indeks cyklu porównywanego,
- j – indeks cyklu odniesienia, wzorcowego (cyklu, względem którego porównujemy),
- n – indeks fazy cyklu,
- $\text{Podz}T^n(j,k)$ – podziałka czasowa pomiędzy poszczególnymi cyklami o indeksach (k,j) dla danej fazy cyklu o indeksie n ,
- $T^n(j); T^n(k)$ – czas trwania cyklu porównywanego o indeksie (j) oraz cyklu odniesienia lub cyklu wzorcowego o indeksie (k) dla danej fazy cyklu o indeksie n .

Jeżeli rozpatrujemy cały cykl, wówczas wartość n przyjmuje się równą 0.

Zastosowanie tak zdefiniowanej podziałki powoduje, że:

- Dla cykli lub faz dłuższych od wzorca uzyskano podziałkę mniejszą od 1 (zwiększenie częstotliwości próbkowania wartości atrybutu),
- Dla cykli lub faz krótszych od wzorca uzyskano podziałkę większą od 1 (zmniejszenie częstotliwości próbkowania wartości atrybutu).

Efekt zwiększenia lub zmniejszenia częstotliwości próbkowania badanych cykli poprzez wprowadzenie ustalonej podziałki odnosi się do aproksymacji danych dla tych cykli (porównywanego i odniesienia), powodując stałą liczbę punktów aproksymujących dany cykl (lub jego określoną fazę) w grupie badanych cykli.

W celu przybliżonej reprezentacji cykli dla atrybutów procesowych zdecydowano się na zastosowanie dwóch różnych metod aproksymacji – za pomocą krzywych Beziera (krzywe swobodne) oraz za pomocą krzywych typu B-Spline (krzywe paraboliczne).

4. Metoda określania podobieństw bazująca na mierze euklidesowej dla odległości bezwzględnej

Przedstawiona metoda służy do określania wartości podobieństw pomiędzy porównywanymi cyklami z zastosowaniem miary bazującej na odległości Euklidesa [2]. Odległości wyznaczone są na podstawie wzoru:

$$D_{2i}^n(k, j) = \left[\sum_{p=1}^P (Y(k)_{p,i}^n - Y(j)_{p,i}^n)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

gdzie:

- i – indeks atrybutu procesowego,
- p – indeks punktu aproksymującego cykl ($p = 1 \dots P$),
- P – liczba punktów aproksymujących cykle, dla których jest obliczana odległość euklidesowa,

$D_{2i}^n(k, j)$ – odległość euklidesowa określana dla danego atrybutu o indeksie i dla danej fazy cyklu o indeksie n pomiędzy wykresami cykli o indeksach (k, j) ,

$Y(k)_{p,i}^n; Y(j)_{p,i}^n$ – wartość danego atrybutu o indeksie i w poszczególnych punktach aproksymacji dla cykli o indeksach (k, j) i danej fazy cyklu o indeksie n .

Pojęcie odległości bezwzględnej dotyczy sposobu wyznaczania wartości odległości pomiędzy poszczególnymi punktami aproksymującymi przebiegi wartości atrybutów. Tutaj są one wyznaczone jako różnice wartości współrzędnych tych punktów (próbek) w przyjętym układzie odniesienia.

Na podstawie tak wyznaczonej odległości euklidesowej określa się wartości podobieństw pomiędzy cyklami o indeksach (k, j) dla danego atrybutu o indeksie i oraz danej fazy cyklu o indeksie n na podstawie zdefiniowanej poniżej miary podobieństwa:

$$\begin{aligned} \Pi_i^n(k, j) &= 1 - \frac{D_{2i}^n(k, j)}{\max(D_{2i}^n(k, j))} && \text{dla } \max(D_{2i}^n(k, j)) \neq 0 \\ \Pi_i^n(k, j) &= 1 && \text{dla } \max(D_{2i}^n(k, j)) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie:

$\Pi_i^n(k, j)$ – podobieństwo pomiędzy poszczególnymi cyklami o indeksach (k, j) w obrębie danej fazy cyklu o indeksie n dla danego atrybutu o indeksie i ,

$\max(D_{2i}^n(k, j))$ – największa odległość euklidesowa dla danego atrybutu o indeksie i oraz danej fazy cyklu o indeksie n dla cykli o indeksach (k, j) .

Wprowadzona miara określania podobieństw daje liniową zmianę wartości podobieństw w funkcji odległości. Taka prosta miara podobieństwa została przyjęta dla ułatwienia późniejszej modyfikacji podobieństw.

Wartość podobieństwa całkowitego pomiędzy poszczególnymi cyklami o indeksach (k,j) dla wszystkich wybranych parametrów wyznacza się na podstawie zależności:

$$\begin{aligned} \Pi C_i(k, j) &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N w_n \cdot \Pi_i^n(k, j) \\ \sum_{n=1}^N w_n &= N \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie:

- $\Pi C_i(k, j)$ – podobieństwo całkowite pomiędzy poszczególnymi cyklami o indeksach (k,j) dla danego atrybutu o indeksie i ,
- N – liczba faz badanego atrybutu,
- w_n – wagi zależne od fazy cyklu, mogą być przyjęte na podstawie opinii eksperta lub jeżeli nie są znane, przyjmują wartość $w_n = 1$ (gdzie $n = 1, \dots, N$); wagi te określają wpływ danej fazy cyklu na podobieństwo całych cykli.

Ponieważ dla takiego sposobu wyznaczania wartości podobieństw pomiędzy cyklami o indeksach (k,j) dla danej fazy o indeksie n może się zdarzyć, że $\Pi C_i(k, j) \neq \Pi C_i(j, k)$ to aby został spełniony aksjomat symetrii wartości podobieństwa ($\Pi C_i(k, j) = \Pi C_i(j, k)$) wprowadzono pojęcie wartości podobieństwa średniego $\Pi SC_i(k, j)$ wyrażonego zależnością:

$$\Pi SC_i(k, j) = \Pi SC_i(j, k) = \frac{\Pi C_i(k, j) + \Pi C_i(j, k)}{2} \quad (5)$$

Wartość podobieństwa całkowitego pomiędzy poszczególnymi cyklami o indeksach (k,j) dla wszystkich wybranych parametrów wyznacza się na podstawie zależności:

$$\begin{aligned} \Pi_{CALK}(k, j) &= \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I w_i \cdot \Pi SC_i(k, j) \\ \sum_{i=1}^I w_i &= I \end{aligned} \quad (6)$$

gdzie:

- I – liczba atrybutów procesowych wybranych do badań,
- w_i – wagi dla poszczególnych atrybutów procesowych ($i = 1, \dots, I$).

W podobny sposób jest wyznaczane podobieństwo pomiędzy wartościami parametrów wejściowych, wyjściowych i czasów trwania poszczególnych cykli.

5. Sposoby modyfikacji gęstości rozkładu podobieństw atrybutów procesowych

Zaproponowane metody wyznaczania podobieństw w zbiorze cykli określonych atrybutów procesowych pozwalają na wyznaczenie wartości podobieństw, które umożliwiają średnią lub słabą rozróżnialność pomiędzy tymi cyklami.

Aby zwiększyć rozróżnialność pomiędzy cyklami procesu, zastosowano modyfikowanie wyznaczonych wartości podobieństwa za pomocą zaproponowanych funkcji modyfikujących o tak dobranych parametrach, że gęstość rozkładu empirycznego podobieństwa zmieni się w ten sposób, że zwiększona zostanie rozróżnialność pomiędzy cyklami poprzez znaczące zmniejszenie wartości podobieństw cykli o najmniejszych wartościach podobieństw, nieznaczną zmianę wartości podobieństw cykli ze środkowych przedziałów wartości wyznaczonych podobieństw oraz zwiększenie liczby cykli bardzo podobnych do zadanego cyklu odniesienia, w zakresie wysokich wartości podobieństwa (0,9–1,0).

Wymagania dla funkcji modyfikujących są następujące:

$$[0;1] \rightarrow [0;1],$$

f_{mod} – monotoniczna,

$$f(0)_{\text{mod}} = 0,$$

$$f(1)_{\text{mod}} = 1.$$

Stosując zaproponowane poniżej funkcje modyfikujące można odpowiednio kształtować gęstość rozkładu empirycznego wyznaczonych wartości podobieństw tak, aby uzyskać odpowiednią rozróżnialność pomiędzy cyklami.

Do modyfikacji zaproponowano następujące funkcje modyfikujące: sigmoidalna unipolarna:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{mod}}(k, j) &= f_{\text{mod}}(\Pi(k, j)) = \frac{1}{1 + e^{-2\beta\Pi(k, j) - \alpha}} \\ \Pi_{\text{mod}}(k, j) &= \frac{\Pi_{\text{mod}}(k, j)}{\max_{k, j}(\Pi_{\text{mod}}(k, j))} \\ \min_{k, j}(\Pi_{\text{mod}}(k, j)) &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

gdzie:

α, β – parametry decydujące o kształcie krzywej;

$\cos(\Pi)$,

$\sinh(\Pi)$,

Weibulla $R(\Pi)$.

Powyższe funkcje modyfikujące umożliwiają uzyskanie odpowiednich gęstości rozkładów podobieństw dla różnych badanych atrybutów procesowych. Modyfikacje te mają duże znaczenie podczas zastosowania opracowanych metod: sekwencji znakowych oraz odległościowych (względnych). Jak stwierdzono podczas badań wstępnych, w wyniku zastosowania tych metod obliczane są podobieństwa, które zapewniają niewystarczającą rozróżnialność pomiędzy cyklami. Wprowadzenie modyfikacji otrzymywanych wartości podobieństw znacząco poprawia tę rozróżnialność.

6. Weryfikacja metod

Opracowane metody modelowania procesów wolnozmiennych zostały poddane weryfikacji [3], [4], [5], do której wykorzystano dane zgromadzone przez system SCADA, w który wyposażony został piec do redukcji miedzi z żużla. Obiekt ten jest jednym z wielu obiektów złożonego ciągu produkcyjnego. Prowadzony na nim proces jest cykliczny o wzorcowym czasie trwania cyklu równym 480 min. Cykle składają się z trzech faz (załadunek, redukcja, spust). Obiekt badań szerzej został opisany w [6], [7]. Wykorzystanie do badań weryfikacyjnych tylko jednej bazy danych wynikało z trudności związanych z pozyskaniem takich baz danych.

W wykorzystanej bazie danych są zgromadzone dane procesowe dla około 200 atrybutów procesowych dotyczących tego obiektu, zarejestrowanych przez system SCADA działający na tym obiekcie oraz dane pochodzące od obsługi pieca, wprowadzone z formularzy wypełnianych przez osoby nadzorujące i sterujące procesem.

W bazie znajduje się ponad 1500 cykli archiwalnych przebiegów sterowań, z czego do grupy użytecznych cykli można zakwalifikować 580 cykli (na podstawie analizy kompletności danych zgromadzonych cykli). W drodze dalszej analizy wyselekcjonowano 360 cykli. Wśród tych 360 cykli można wyróżnić dwie grupy cykli po 180 cykli każda, pomiędzy którymi istnieje długa przerwa czasowa w zapisie (około 3-miesięczna), która może świadczyć o przeprowadzonym remoncie pieca.

Do badań została wybrana pierwsza grupa cykli (do czasu prawdopodobnego wystąpienia przerwy remontowej), z której po dalszej analizie kompletności zapisów pozostało tylko 130 cykli, które posiadały pełne zapisy dla poszczególnych, wybranych atrybutów procesowych.

W bazie danych zostały zgromadzone dane o trzech podstawowych typach atrybutów procesowych, zwanych dalej wolnozmiennymi parametrami procesowymi. Pierwszą grupę stanowią wolnozmiennie parametry elektryczne dotyczące mocy, napięć, natężeń prądu dla głównych obwodów zasilających pieca elektrycznego. W grupie tej znalazły się także parametry prądowe urządzeń

peryferyjnych pieca takich, jak wentylatory, dane o położeniu elektrod oraz o stosowanym zaczeple transformatora.

Grupę drugą tworzą wolnozmiennie parametry ciśnienia pieca i jego obwodów zasilania w wodę chłodzącą. Ostatnią grupę tworzą wolnozmiennie parametry temperatur pieca.

Do analizy postanowiono wybrać parametry, które wykazują zauważalne zmiany swoich wartości w czasie trwania poszczególnych cykli, czyli parametry elektryczne i ciśnienia. Pominięto tutaj parametry temperaturowe ze względu na przyjęcie ich jako parametrów stanu cechujących się bardzo małą szybkością zmian ich wartości w czasie.

Do badań wybrano 26 atrybutów opisujących sterowania i stany procesu (parametry elektryczne, położenia elektrod, ciśnienie w piecu) tabela 1, 6 atrybutów opisujących wejścia (skład chemiczny i ilość wprowadzanego żużla) oraz 6 atrybutów opisujących wyjścia (skład chemiczny i ilość żużla odmiedziowanego oraz ilość zużytej energii w czasie cyklu).

Do weryfikacji wykorzystano 130 kompletnych cykli wybranych z bazy danych dla każdego z poszczególnych atrybutów.

Tabela 1. Wybrane parametry wolnozmiennie
Table 1. Set of selected of slowly changing parameters

Identyfikator parametru	Wielkość mierzona
<i>P52043</i>	ciśnienie w piecu elektrycznym
<i>i_0_trafo</i>	prąd zerowy transformatora
<i>p_czy_zas</i>	zasilanie – moc czynna
<i>p_bie_zas</i>	zasilanie – moc bierna
<i>poz_el(1,2,3)</i>	położenie elektrod 1, 2, 3
<i>p_czy_el(r,s,t)</i>	moc czynna elektrod r, s, t
<i>p_bie_el(r,s,t)</i>	moc bierna elektrod r, s, t
<i>i_zas(r,s,t)</i>	prąd zasilania elektrod r, s, t
<i>i_el(r,s,t)</i>	prąd w obwodzie elektrod r, s, t
<i>u_el(r,s,t)</i>	napięcie elektrody r, s, t
<i>i_pas_12(e,g)</i>	prądy
<i>i_pas_13g</i>	prąd
<i>zaczep_poz</i>	pozycja zaczeple transformatora

6.1. Określenie parametrów weryfikowanych metod

Ponieważ wybrane do badań cykle różnią się czasami trwania (różne czasy trwania faz i całych cykli), konieczne było przeprowadzenie normalizacji czasowej poszczególnych faz cykli. Zdecydowano, że normalizacja zostanie przeprowadzona dla poszczególnych faz względem najkrócej trwających faz wybra-

nych cykli. Przyjęto, że cykl odniesienia będzie się składał z faz o najkrótszych czasach trwania, określonych w zbiorze cykli wybranych do badań (60 punktów dla fazy zalewania, 145 punktów dla fazy redukcji, 80 punktów dla fazy spustu). Tak zdefiniowany cykl wzorcowy został zastosowany w prowadzonej weryfikacji. Wartości podziałki były wyznaczane za każdym razem, w każdej fazie cyklu i dla każdej rozpatrywanej pary porównywanych cykli o indeksach (k,j) . Opracowana metoda normalizacji czasowej nie wymaga, aby przy budowie wzorcowego cyklu uwzględniać najkrócej trwające fazy.

Założono, że w trakcie wyznaczania wartości podobieństw przebiegów rozpatrywanych atrybutów procesowych zostaną określone wartości odległości i podobieństw dla poszczególnych faz i na ich podstawie zostanie określone podobieństwo całego cyklu zgodnie ze zdefiniowanymi zależnościami dla opracowanych metod.

6.2. Wyznaczenie wartości podobieństw cykli wybranych parametrów procesowych

Na podstawie wyznaczonych wartości odległości dla poszczególnych faz cykli, dla wybranych parametrów procesowych określono wartości podobieństw pomiędzy cyklami dla poszczególnych ich faz.

W tabeli 2 zestawiono wyniki dla wybranych cykli w trzech klasach wartości podobieństw (największe, średnie i najmniejsze wartości podobieństwa) względem cyklu odniesienia 1534, uzyskanych w wyniku zastosowania metody bazującej na odległości bezwzględnej z zastosowaniem modyfikacji (funkcja sigmoidalna) wartości wyznaczonych podobieństw oraz bez modyfikacji (dla parametru p_czy_zas).

Tabela 2. Wartości wyznaczonych podobieństw
Table 2. Set of cycles of similarities

ID Cyklu	Wartości podobieństw	
	oryginalne	zmodyfikowane
4582	0,819	0,902
4537	0,789	0,856
1600	0,778	0,871
...
1	0,665	0,658
1549	0,665	0,590
1567	0,665	0,601
...
364	0,457	0,250
2128	0,342	0,199
286	0,362	0,198

W tabeli 3 zestawiono wybrane wyniki wyszukiwania podobnych cykli do cyklu odniesienia 1534 dla podobieństw wyznaczonych za pomocą omówionych powyżej metod. Do modyfikacji wyznaczonych wartości podobieństw zastosowano funkcję modyfikującą sigmoidalną. Po uśrednieniu wartości podobieństw wyznaczonych za pomocą omówionych metod przeprowadzono wyszukiwanie podobnych realizacji.

Tabela 3. Wyszukany zbiór cykli o różnych podobieństwach do cyklu 1534
Table 3. Set of cycles of similarities to cycle ID 1534

ID Cyklu	Podobieństwa			
	Wejścia	Parametry wolno- zmiennie	Wyjścia	Całkowite
4531	0,97	0,84	0,99	0,93
1660	0,92	0,86	0,86	0,88
...
1474	0,67	0,85	0,67	0,71
...
4615	0,57	0,73	0,45	0,59
1456	0,55	0,71	0,49	0,58

6.3. Ocena wyników badań uzyskanych za pomocą opracowanych metod

Ocenie poddano wyniki uzyskane z uśrednionych wartości podobieństw wyznaczonych za pomocą opracowanych metod. Gęstość rozkładu empirycznego wartości podobieństwa dobrano za pomocą funkcji modyfikującej sigmoidalnej, tak aby uzyskać odpowiednio liczną reprezentację cykli podobnych do zadanego w różnych obszarach podobieństwa.

Dla tak zmodyfikowanych wartości postanowiono zweryfikować następującą hipotezę [1].

Jeżeli w zbiorze cykli reprezentowanym za pomocą opracowanych metod da się określić podzbiór cykli o dostatecznie wysokich podobieństwach stanów wejściowych Π_{WE} , który będzie dostatecznie liczny L_{WE} i w tym podzbiorze da się określić podzbiór cykli o dostatecznie wysokich podobieństwach sterowań Π_{STER} i dostatecznie dużej liczności L_{STER} , to w tym ostatnim podzbiorze także będą dostatecznie wysokie podobieństwa stanów wyjściowych Π_{WY} .

W tabeli 4 zestawiono wyniki przeprowadzonego badania dla różnych wartości progowych podobieństw poszczególnych klas parametrów oraz różnych licznosci progowych dla tych parametrów. Miarą oceny opracowanych elementów systemu CBR była wartość średnia współczynnika \bar{O}_{EST} [1] z poszczególnych prób L_{PROB} .

Tabela 4. Wyniki oceny opracowanych elementów systemu CBR
 Table 4. Results of work out of CBR system evaluation

Wejścia		Sterowania		Wyjścia	Liczba prób	Estymator
$\Pi_{WE} \geq$	$L_{WE} \geq$	$\Pi_{STER} \geq$	$L_{STER} \geq$	$\Pi_{WY} \geq$	L_{PROB}	$\bar{O}_{EST} [\%]$
0,9	20	0,8	10	0,7	21	83
0,9	20	0,8	5	0,7	66	85
0,9	20	0,85	10	0,75	5	85
0,9	20	0,8	10	0,75	21	78
0,9	20	0,8	10	0,8	21	71

Na podstawie wyników można stwierdzić, że przyjęte kryterium jest spełnione dla tak przygotowanego zbioru przykładów cykli. Otrzymane wysokie wartości estymatora (na poziomie 85%) pozwalają stwierdzić, że zbudowane elementy systemu wnioskowania opartego na przykładach, tj. sposób reprezentacji przykładów i miara podobieństwa przykładów, umożliwiają wystarczająco skuteczny wybór podobnych cykli procesu.

7. Wnioski

Opracowane metody bazują na prostych sposobach analizy danych oraz zdefiniowanych prostych miarach podobieństwa, co umożliwia łatwą implementację programową oraz dużą szybkość działania tych programów. Metody te łączą wiele różnych sposobów modelowania stosowanych w modelowaniu obiektów i/lub procesów, dzięki czemu wyniki uzyskiwane za ich pomocą mogą być bardziej wiarygodne i miarodajne niż w przypadku stosowania tylko jednej z opracowanych metod. Stosowanie tych metod określania podobieństw przebiegów umożliwia skuteczne wyszukiwanie podobnych cykli procesu. Przedstawione sposoby modyfikacji wyliczanych wartości podobieństw pozwalają na określenie takiej funkcji podobieństwa, która ułatwia wyszukanie podobnych realizacji procesu.

Praca wpłynęła do Redakcji 24.04.2007 r.

Literatura

- [1] Tomasik P.: Metody identyfikacji modeli procesów wolnozmiennych na potrzeby diagnostyki technicznej, Praca doktorska, Politechnika Śląska: Wydział Mechaniczny Technologiczny, Gliwice 2006.
- [2] Cholewa W., Kiciński J.: Diagnostyka techniczna. Odwrotne modele diagnostyczne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.

- [3] Tomasiak P.: Metody regresyjne modelowania procesów, SEMINARIUM HMP-2006 Heurytyczne modele procesów w utrzymaniu ruchu kompleksu ścianowego, 15 marca, Gliwice 2006.
- [4] Tomasiak P.: Methods to determine control similarities of complex process realization, AI-METH 2005 Artificial Intelligence Methods, Silesian University of Technology, 16–18 November, Gliwice 2005.
- [5] Tomasiak P.: Koncepcja systemu do diagnostyki złożonego procesu przemysłowego, VII Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna Diagnostyka Procesów Przemysłowych, DPP'05, 12–14 września, Rajgród 2005.
- [6] Szulim R.: Metoda pozyskiwania wiedzy do wspomagania prowadzenia złożonego procesu technologicznego, Praca doktorska, Uniwersytet Zielonogórski: Wydział Elektroniki, Informatyki i Telekomunikacji, Zielona Góra 2004.
- [7] Szulim R.: Koncepcja systemu doradczego do wspomagania obsługi w prowadzeniu złożonego procesu przemysłowego, VI Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna Diagnostyka Procesów Przemysłowych, DPP'03, 15–17 września, Władysławowo k. Gdańska 2003.

Methods of modeling identification of slowly changing processes for needs of technical diagnosis

S u m m a r y

The paper deals with methods of modeling of slowly changing processes, based on simple data processing from complexed, slowly changing and periodical industrial process. There was presented a simple data processing definition, chosen results of similarity cycles searching and conclusions. The verification of prepared methods and then the assessment of their efficiency has been run using data from real technical object. Verification was an inductive proving the hypothesis, which was that cycle with enough similar input and enough similar steering, obtains enough similar output.