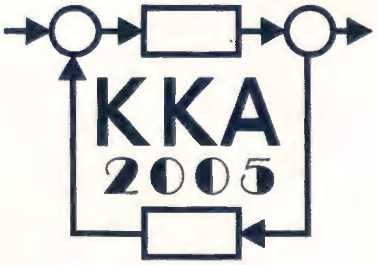
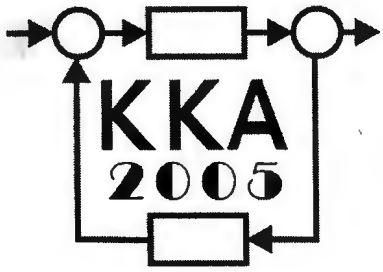
XV Krajowa Konferencja Automatyki

Tom II



Redaktorzy:
Zdzisław Bubnicki
Roman Kulikowski
Janusz Kacprzyk

XV Krajowa Konferencja Automatyki
Tom II



Redaktorzy:
Zdzisław BUBNICKI
Roman KULIKOWSKI
Janusz KACPRZYK

ORGANIZATOR
Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk
WSPÓŁORGANIZATORZY
Politechnika Warszawska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓŁORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

KOMITET PROGRAMOWY

Przewodniczący	Zdzisław BUBNICKI
Zastępca Przewodniczącego	Roman KULIKOWSKI

CZŁONKOWIE

Stanisław BAŃKA	Michał BIAŁKO
Mikołaj BUSŁOWICZ	Władysław FINDEISEN
Ryszard GESSING	Henryk GÓRECKI
Jakub GUTENBAUM	Jerzy JÓZEFCZYK
Stanisław KACZANOWSKI	Tadeusz KACZOREK
Janusz KACPRZYK	Jerzy KLAMKA
Józef KORBICZ	Zbigniew KOWALSKI
Krzysztof KOZŁOWSKI	Juliusz L. KULIKOWSKI
Krzysztof KUŹMIŃSKI	Kazimierz MALANOWSKI
Krzysztof MALINOWSKI	Wojciech MITKOWSKI
Antoni NIEDERLIŃSKI	Władysław PEŁCZEWSKI
Tadeusz PUCHAŁKA	Leszek RUTKOWSKI
Stanisław SKOCZOWSKI	Roman SŁOWIŃSKI
Jerzy ŚWIĄTEK	Andrzej ŚWIERNIAK
Ryszard TADEUSIEWICZ	Piotr TATJEWSKI
Krzysztof TCHOŃ	Leszek TRYBUS
Jan WĘGLARZ	Andrzej P. WIERZBICKI

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący	Roman KULIKOWSKI
Zastępcy Przewodniczącego	Janusz KACPRZYK
	Stanisław KACZANOWSKI
	Tadeusz KACZOREK
	Krzysztof MALINOWSKI
Członkowie	Roman OSTROWSKI
	Tadeusz PUCHAŁKA
	Dariusz WAGNER
Sekretarze naukowi	Jan STUDZIŃSKI
	Jan W. OWSIŃSKI

ISBN 83-89475-01-4

Copyright © Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk
All rights reserved

Druk: ARGRAF, Warszawa

TECHNIKA SYSTEMÓW – DIAGNOSTYKA

SYSTEM BIEŻĄCEJ DIAGNOSTYKI STACJI WYPARNEJ

Michał SYFERT, Paweł RZEPIEJEWSKI, Paweł WNUK, Jan Maciej KOŚCIELNY

Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki i Robotyki
ul. Św. A. Boboli 8, 02-525 Warszawa
e-mail:(m.syfert)(przepiejewski)(p.wnuk)(jmk)@mchtr.pw.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono przykład zastosowania systemu diagnostycznego AMandD do monitorowania stanu technicznego fragmentu instalacji technologicznej produkcji cukru. Do detekcji uszkodzeń system wykorzystuje zbiór testów diagnostycznych bazujących na modelach cząstkowych instalacji, zależnościach o charakterze heurystycznym oraz redundancji sprzętowej. Lokalizacja uszkodzeń prowadzona jest przy użyciu mechanizmu wnioskowania rozmytego zawierającego bazę reguł opracowaną przez eksperta. W artykule zaprezentowano wyniki przeprowadzonej analizy diagnostycznej instalacji oraz przykładowych badań eksperymentalnych.

Słowa kluczowe: Aplikacje przemysłowe, systemy diagnostyczne, wnioskowanie diagnostyczne, logika rozmyta, modelowanie rozmyte, nadzorowanie.

1. WSTĘP

Od współczesnych systemów sterowania i wizualizacji procesów przemysłowych (SCADA i DCS) coraz częściej, oprócz standardowych funkcji takich jak wizualizacja procesu, archiwizacja zmiennych procesowych, zarządzanie alarmami, raportowanie czy wyliczanie ogólnych wskaźników jakości prowadzenia procesu, wymaga się funkcji zaawansowanego nadzorowania procesu. Pożądane są moduły realizujące następujące funkcje:

- modelowanie i symulacja procesu;
- wirtualne czujniki pomiarowe i analizatory;
- programowa redundancja i rekonstrukcja wartości zmiennych procesowych uszkodzonych czujników połączona z walidacją torów pomiarowych;
- predykcja wartości zmiennych procesowych oraz przebiegu procesu przy wykorzystaniu modeli procesu;
- detekcja i lokalizacja wszelkiego rodzaju uszkodzeń;
- wspieranie operatorów w stanach awaryjnych.

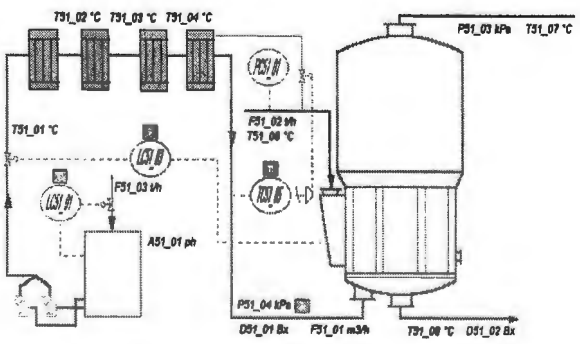
Aktualnie tego typu zadania zaawansowanego nadzorowania realizowane są zwykle przez oddzielne specjalizowane moduły systemowe lub wręcz przez oddzielne - zewnętrzne komponenty.

W Instytucie Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej opracowany został zaawansowany system monitorowania i diagnostyki procesów przemysłowych AMandD, którego zadaniem jest realizacja większości z powyższych funkcji. Pierwsza wersja systemu powstała w ramach projektu Unii Europejskiej „Zaawansowany system wspomagania decyzji dla chemicznych i petrochemicznych systemów wytwórczych – CHEM". System AMandD, pomimo wstępnego założenia o aplikacjach w przemyśle chemicznym i petrochemicznym, został zaprojektowany w sposób niezależny od specyfiki tych procesów, tak aby mógł być stosowany także w przemysłach energetycznym, spożywczym, hutniczym i wielu innych.

W artykule przedstawiono aplikację systemu AMandD dla fragmentu instalacji technologicznej cukrowni – stacji wyparnej.

2. OBIEKT DIAGNOZOWANIA

Stacja wyparna jest to odcinek instalacji technologicznego, w którym następuje zagęszczanie oczyszczonego już rzadkiego soku buraczanego. Składa się ona z pięciu (połączonych szeregowo) sekcji, z których pierwsze trzy nadzorowane są przez system diagnostyczny. Schemat pierwszej z nich przedstawiono na rys. 1. W sekcji tej można wyróżnić zbiornik buforowy, cztery ogrzewacze oraz pierwszy aparat wyparny. Sekcje druga i trzecia złożone są z dwóch połączonych szeregowo aparatów wyparnych.



Rys. 1. Schemat pierwszej sekcji stacji wyparnej.

W rozważanym odcinku procesu wyróżniono około 150 pomiarowo-dostępnych wielkości charakteryzujących proces tj. wartości temperatur, gęstości, ciśnień, poziomów soku w zbiornikach i aparatach wyparnych, czy nastaw elementów wykonawczych. Zmienne te są dostępne na drodze transmisji cyfrowej z systemu sterowania i monitorowania działającego w cukrowni. Proces sterowany jest przez układy regulacji realizowane przez sterowniki typu PLC. Wizualizacja procesu odbywa się z wykorzystaniem systemu SCADA. Wszystkie wykorzystane zmienne procesowe dostępne są z 10 sekundowym taktem próbkowania. Dotychczas proces nie był nadzorowany przez system diagnostyczny. Stosowany był jedynie standardowy system alarmów.

Ze względu na dużą ilość nadzorowanych aparatów technologicznych, urządzeń pomiarowych i wykonawczych w systemie diagnostycznym instalację zakodowano w postaci czteropoziomowego drzewa hierarchicznego. Pierwszy poziom to naturalny podział stacji wyparnej na sekcje. Na poziomie drugim i trzecim w sekcjach wyróżniono poszczególne aparaty technologiczne lub ich główne funkcje. Urządzenia pomiarowe i wykonawcze zakodowane są na poziomie czwartym. W tabeli 1 przedstawiono dwa górne poziomy uzyskanego w ten sposób hierarchicznego opisu diagnozowanego odcinka instalacji.

Tabela 1. Dwa górne poziomy zaproponowanej dekompozycji obiektu diagnozowania

Poziom 1	Poziom 2
Sekcja 1 SW.1	1 – Zbiornik buforowy
	2 – Regulacja przepływu soku
	3 – Sekcja ogrzewaczy
	4 – I-szy aparat wyparny
Sekcja 2 SW.2	1 – II-gi aparat wyparny
	2 – III-ci aparat wyparny
Sekcja 3 SW.3	1 – IV-ty aparat wyparny
	2 – V-ty aparat wyparny

Na podstawie tak sformułowanego opisu instalacji technologicznej tworzone były w systemie diagnostycznym nazwy modeli, testów diagnostycznych, residuów, uszkodzeń itp.

Zbiór rozpatrywanych uszkodzeń stacji wyparnej zdefiniowano na podstawie wiedzy eksperckiej o budowie i działaniu instalacji technologicznej. Uwzględniono uszkodzenia torów pomiarowych (oznaczone jako „s"), elementów wykonawczych („a"), pętli regulacyjnych („c"), komponentów instalacji technologicznej („o") oraz ogólnie pojęte nieprawidłowe stany procesu („p") spowodowane np. przez oddziaływanie części instalacji nie objętej systemem diagnozowania. W tabeli 2 przedstawiono przykładowy zbiór uszkodzeń dla sekcji ogrzewaczy (SW.1.3).

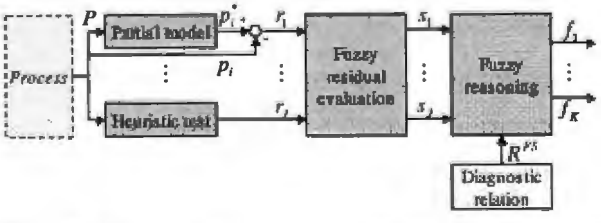
Table 2: Zbiór uszkodzeń sekcji ogrzewaczy

Symbol	Opis
f-SW.1.3.1.1s	Uszkodzenie czujnika T 51.01
f-SW.1.3.1.2s	Uszkodzenie czujnika T 51.02
f-SW1.3.1o-1	Uszkodzenie ogrzewacza I
f-SW.1.3.2.1s	Uszkodzenie czujnika T 51.03
f-SW.1.3.2o-1	Uszkodzenie ogrzewacza II
f-SW.1.3.3.1s	Uszkodzenie czujnika T 51.04
f-SW.1.3.3.o-1	Uszkodzenie ogrzewacza III
f-SW.1.3.4.1s	Uszkodzenie czujnika TC 51.05
f-SW.1.3.4.2a	Uszkodzenie zaworu regulującego TC51.05
f-SW.1.3.4.3s	Uszkodzenie czujnika T51.06
f-SW.1.3.4.4s	Uszkodzenie czujnika P51.01
f-SW.1.3.4.5s	Uszkodzenie czujnika F51.02
f-SW.1.3.4.6c	Nieprawidłowa praca regulatora TC51.05
f-SW.1.3.4.7c	Nieprawidłowa praca regulatora PC51.01
f-SW.1.3.4o-1	Uszkodzenie ogrzewacza IV
f-SW.1.3.4.p-4	Zbyt wysoka temperatura soku
f-SW.1.3.4.p-5	Zbyt niska temperatura soku
f-SW1.3.4.p-2	Nieoczekiwana zmiana temperatury pary grzewczej
f-SW1.3.4.p-3	Nieoczekiwana zmiana ciśnienia pary grzewczej lub jej brak

3. ALGORYTMY DIAGNOSTYCZNE

Ogólny schemat zaprojektowanego algorytmu diagnostycznego przedstawiono na rys. 2. Można w nim wyróżnić następujące etapy:

- Na podstawie analizy zbioru wartości zmiennych procesowych P wyznaczane są wartości residuów r_j.
- W wyniku rozmytej oceny residuów wyznaczane są sygnały diagnostyczne s_j stanowiące jakościową reprezentację wartości residuów. Na etapie oceny residuów realizowana jest detekcja uszkodzeń.
- Na podstawie zbioru sygnałów diagnostycznych S, z wykorzystaniem relacji diagnostycznej R_{FS} zapisanej w procesie konfiguracji systemu realizowane jest rozmyte wnioskowanie, co do obecności uszkodzeń, czyli proces lokalizacji. Ostateczna diagnoza jest formułowana jako zbiór współczynników pewności obecności uszkodzeń f_k.



Rys. 2. Schemat blokowy mechanizmu wnioskowania diagnostycznego.

3.1. Testy diagnostyczne

Testy wykorzystane w algorytmach diagnostycznych bazują na relacjach pomiędzy zmiennymi procesowymi (Korbicz, et al., 2004). W aplikacji zdefiniowano około 160 testów, które mogą być podzielone na siedem kategorii:

- testy wykrywające uszkodzenia torów pomiarowych (oznaczane symbolem „W"); monitorują one charakterystyczne parametry sygnału takie jak: przekroczenie ustalonych granic zmienności lub dopuszczalnej szybkości zamian, wykrycie zbyt małej zmienność sygnału, itp.;
- testy wykrywające przekroczenie granic alarmowych (oznaczane symbolem „A"); testy te w wielu przypadkach dublują klasyczny system alarmowy zaimplementowany w systemie SCADA;
- testy bazujące na redundancji sprzętowej (oznaczane symbolem „R"); obliczają one różnicę pomiędzy pomiarami tej samej wielkości pomiarowej przez dwa oddzielne przetworniki;
- testy sprawdzające poprawność działania pętli regulacyjnych (oznaczane symbolem „C"); monitorują one odchyłkę regulacji, poprawność działania algorytmu, a także wykrywają utratę sterowalności;
- testy wykorzystujące proste związki heurystyczne pomiędzy zmiennymi procesowymi (oznaczane symbolem „K");
- testy wykorzystujące modele parametryczne (oznaczane symbolem „M"); testy określają różnicę pomiędzy zmienną procesową mierzoną a redundantną obliczaną na podstawie cząstkowych modeli parametrycznych; zastosowanie modeli parametrycznych opisane jest w podrozdział 3.2.
- testy monitorujące stan załączeń urządzeń wykonawczych (oznaczane symbolem „S").

Wykorzystane, w opisywanej aplikacji, testy diagnostyczne w miarę dokładnie pokrywają cały obszar nadzorowanego fragmentu instalacji. Wybrane algorytmy dla obszaru ogrzewaczy przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3: Wybrane testy diagnostyczne obszaru ogrzewaczy

Oznaczenie	Szkic algorytmu	Opis
s-SW.1.3.4.4s-1W	$[STD(PC51.01) > \Delta_1]$ $[\min_{PC51.01} < PC51.01 < \max_{PC51.01}]$ $[\Delta PC51.01/\Delta t < \Delta_3]$	Wykrycie uszkodzenia toru pomiarowego PC51.01
r-SW.1.3.4-1A	$(C_{T51.06} - T51.06) < \Delta$	Kontrola temperatury pary
s-SW.1.3.4-2C	if [(TC51.05.SP - C51.05.PV) > Λ and (TC51.05.CV <> 100)] then (↑ TC51.05.CV) if [(TC51.05.SP - TC51.05.PV) <Λ and (TC51.05.CV <> 0)] then (↓ TC51.05.CV)	Kontrola pętli regulacji TC51.05
s-SW.1.3.4-3C	if (TC51.05.CV =100) then (↑ TC51.05.PV) if (TC51.05.CV =0) then (↓ TC51.05.PV)	Kontrola sterowalności w pętli regulacji TC51.05
r-SW.1.3.1-1K	$T51.02 - T51.01$	Kontrola przyrostu temperatury na ogrzewaczu I
s-SW.1.3.4-1M	$TC51.05.PV + -f(T51.04, TC.51.05.CV)$	Kontrola przyrostu temperatury na ogrzewaczu IV

3.2. Modele cząstkowe

W aplikacji nie stosowano modelu, który pokrywałby całą stację wyparną. Do generacji residuów opracowano zbiór modeli cząstkowych symulujących jak najmniejsze obszary. Modelowano następujące sygnały:

- Przepływu soku (sygnał F51.01). Właściwie jest to model zaworu regulacyjnego. Wejściem do modelu jest sygnał sterujący urządzeniem oraz ciśnienie soku w instalacji:

$$F51.01 = f(LC51.03CV, P51.04) \quad (1)$$

  Wykorzystany został również model uproszczony w którym pominięto informacje o ciśnieniu soku.
- Temperatura soku po sekcji ogrzewaczy – model IV ogrzewacza. Wejściem do modelu jest temperatura soku przed ogrzewaczem oraz sygnał sterujący zaworem dopływu pary grzejnej:

$$TC51.05.PV = f(T51.04, TC51.05.CV) \quad (2)$$

- Temperatury pary nasyconej wytworzonej w poszczególnych aparatach wyparnych. Zbiór modeli zawierających relacje temperatura - ciśnienie w kolejnych aparatach wyparnych:

$$T51.07 = f(P51.03) \quad (3)$$

$$T52.01 = f(P52.01) \quad (4)$$

$$T54.01 = f(P54.01) \quad (5)$$

Modelowane zjawiska mają charakter nieliniowy o nieznanej strukturze. Niemożliwe było więc wykorzystanie klasycznych modeli liniowych. Do symulacji zmiennych procesowych zastosowano więc modele rozmyte. Tego typu modelowanie jest bardzo efektywne dla przedstawienia zarówno charakterystyk statycznych jak i dynamiki obiektów nieliniowych o nieznanej strukturze. Literatura podaje wiele metod tego rodzaju modelowania. Wiele uwagi poświęca metodzie modelowania Takagi-Sugeno-Kanga (Takagi and Sugeno, 1985). Modele te zawierają reguły z rozmytym poprzednikiem oraz w następniku matematyczną funkcję. Zwykle funkcja konkluzji ma formę równania liniowego uwzględniającego dynamikę. Każda reguła ma następującą formę:

$$R_i : \text{if}\left[x_1 = A_i^1 \wedge \ldots \wedge x_n = A_i^n\right] \text{then}\left[y = f_i(u)\right] \quad (6)$$

gdzie: Ri- i-ta reguła, xj – j-te rozmyte wejście, (j=1,2,…,n), Aij – j-ta partycja w i-tej regule modelu, n – numer rozmytego wejścia, y – wyjście z modelu, fi – funkcja następnika dla iitej reguły, u – wektor parametrów funkcji następnika.

Rozmyty poprzednik tych reguł dzieli wartości sygnałów wejściowych na odpowiednią ilość obszarów rozmytych. Każda partycja jest definiowana przez funkcję przynależności. W przypadku tej aplikacji wykorzystano funkcje trójkątne:

$$\mu(x) = \max\left(0, \min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{x-b}\right)\right) \qquad (7)$$

przy założeniu, że $a \leq b \leq c$ oraz parametry otrzymanej funkcji przynależności są związane następującą zależnością:

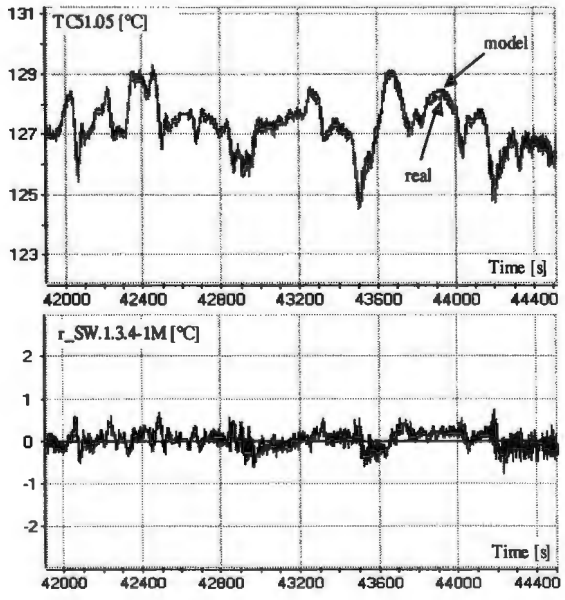
$$\forall i \quad a_i = b_{i-1} \wedge c_i = b_{i+1} . \qquad (8)$$

Najczęściej funkcja f_i ma postać liniowego równania różnicowego, o następującej formie:

$$f_i(u) = a_0^{(i)} + a_1^{(i)} u_1 + .. + a_m^{(i)} u_m \qquad (9)$$

gdzie: $a_j(i)$ – j-ty współczynnik równania i-tej konkluzji reguły, u_i – wektor wejściowy dany dla $u=[u_1,u_2,\ldots,u_m]$, $u \in R_m$ zawierający opóźnienia sygnału wejściowego.

Wszystkie modele zostały opracowane przy wykorzystaniu oprogramowania MITforD. Jest to narzędzie systemu AMandD przeznaczone do identyfikacji parametrycznej obiektów. Oprogramowanie to umożliwia pełną identyfikację procesu oraz automatyczne uzyskanie struktury modeli (określenie liczby i parametrów partycji rozmywania). Podczas procesu identyfikacji został wykorzystany algorytm ewolucyjny, zaproponowany przez Wnuka (Wnuk 2004), poszukiwania struktury. Współczynniki funkcji liniowych następnie estymowane były z wykorzystaniem metody LS. Dokładność uzyskanych modeli mieściła się w granicach od 0.2 do 1.2% zakresu pomiarowego. Przykładowe wyniki modelowania temperatury soku za IV ogrzewaczem przedstawiono na rysunku 3.

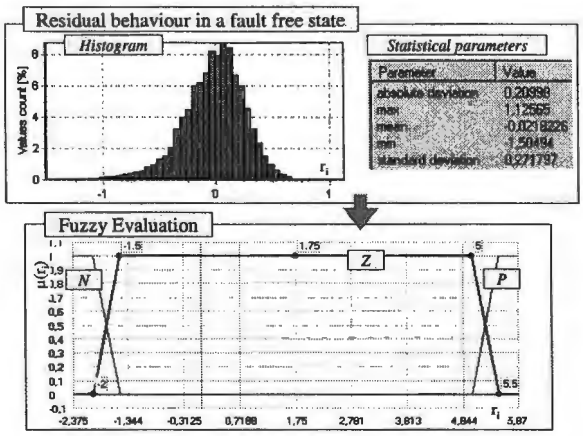


Rys. 3: Jakość modelowania temperatury po IV ogrzewaczu. Średnia dokładność modelowania: 0.23 % zakresu pomiarowego. Rysunek górny – porównanie sygnału mierzonego i modelowanego, dolny – błąd modelowania.

3.3. Wnioskowanie diagnostyczne

Wartości wszystkich residuów rozmywane są na trzy zbiory (Frank, 1994; Kościelny and Syfert, 2003b). Dla każdego z residuów tylko jeden zbiór rozmyty 'Z' odpowiada wartościom dla stanu pełnej zdatności. Zbiór 'N' pokrywa wartości mniejsze, zaś zbiór 'P' wartości większe. Zbiory 'P' oraz 'N' nazywane są symptomami uszkodzeń, gdyż wystąpienie ich oznacza pojawienie się uszkodzenia w instalacji.

Parametry funkcji przynależności zbiorów rozmytych ustalane są na podstawie analizy statystycznej wartości residuum dla stanu pełnej zdatności. Przykład doboru parametrów przedstawiony został na rysunku 4.



Rys. 4: Przykład określania parametrów zbiorów rozmytych dla residuum r-SW.1.3.4e-m.

Do lokalizacji uszkodzeń zastosowano algorytm Industrial - Dynamic Table of States (I-DTS) (Kościelny and Syfert, 2003a). Cechuje się ona następującymi właściwościami:

- Dwu-wartościową, hierarchiczną strukturą, umożliwiającą dekompozycję systemu.
- Możliwością wykrywania uszkodzeń nieprzewidzianych podczas konfiguracji systemu.
- Implementacją innych równoległych metod wnioskowania (modyfikacja metody TDS, F-DTS, oraz T-DTS (Korbicz, *et al*, 2004)).
- Dynamicznym tworzeniem wątków diagnostycznych zwiększających możliwość wykrywania uszkodzeń wielokrotnych
- Możliwością wzięcia pod uwagę niepewności i dynamiki powstawania symptomów.
- Możliwością rekonfiguracji systemu wnioskowania w przypadku zmiany dostępnego zbioru sygnałów mierzonych.
- Możliwością łatwej rozbudowy systemu podczas eksploatacji.

W aplikacji została wykorzystana statyczna dekompozycja algorytmów lokalizacji uszkodzeń. Na wyższym poziomie, proces został podzielony na trzy główne niezależne diagnostycznie globalne sekcje.
Podział ten jest zgodny z sekcjami instalacji (SW.1, SW.2 i SW.3).

Dodatkowo, pierwsza globalna sekcja SW.1 została podzielona na cztery podsekcje na niższym hierarchicznie poziomie dekompozycji (podproces SW.1.1, SW.1.2, SW.1.3 i SW1.4). Zastosowany podczas dekompozycji diagnostycznej podział odpowiada sekcjom zdefiniowanym podczas analizy instalacji przedstawionej w tabeli 1.

Relacje pomiędzy uszkodzeniami i obserwowanymi symptomami definiowane są na podstawie wiedzy o procesie oraz strukturze dostępnych residuów. Tabela 4 przedstawia przykładową macierz diagnostyczną dla sekcji ogrzewaczy (SW.1.3). W tabelach 5 i 6 przedstawiono wyniki uzyskanej wykrywalności i rozróżnialności uszkodzeń.

Table 4: Fragment tabeli relacji diagnostycznych dla sekcji ogrzewaczy (SW.1.3).

	s-SW.1.3.1-1C	s-SW.1.3.2-1C	s-SW.1.3.3-1C	s-SW.1.3.4-1M	s-SW.1.3.4-2A	s-SW.1.3.4-3A	s-SW.1.3.4-4A
f-SW.1.3.1.1s	N;P						
f-SW.1.3.1.2s	N;P	N;P					
f-SW1.3.1o-1	N;P						
f-SW.1.3.2.1s		N;P	N;P				
f-SW.1.3.2o-1		N;P					
f-SW.1.3.3.1s			N;P	N;P			
f-SW.1.3.3o-1			N;P				
f-SW.1.3.4.1s				N;P	N;P		
f-SW.1.3.4.2a				N;P			
f-SW.1.3.4.3s						N;P	
f-SW.1.3.4.4s							N;P
f-SW.1.3.4.5s							
f-SW.1.3.4.6c					N;P		
f-SW.1.3.4.7c							
f-SW.1.3.4o-1				N;P			
f-SW.1.3.4.p-4					P		
f-SW.1.3.4.p-5					N		
f-SW1.3.4.p-2				N;P		N;P	
f-SW1.3.4.p-3				N;P			N;P

Tabela 5: Przykładowe wyniki wykrywalności i rozróżnialności uszkodzeń dla sekcji ogrzewaczy (SW.1.3).

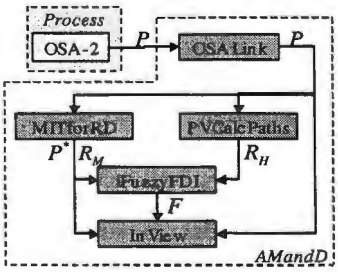
Sekcja SW.1.3	Uszkodzenie		
Uszkodzenia rozróżnialne	f-SW.1.3.1.2s f-SW.1.3.2.1s f-SW.1.3.2o-1	f-SW.1.3.3.1s f-SW.1.3.4.3s f-SW.1.3.4.4s	f-SW.1.3.4.1s f-SW1.3.4.p-2 f-SW1.3.4.p-3
Uszkodzenia warunkowo roz.	(f-SW.1.3.4.6c - f-SW.1.3.4.p-4) (f-SW.1.3.4.6c - f-SW.1.3.4.p-5)		
Uszkodzenia nierozróżnialne	(f-SW.1.3.1.1s - f-SW1.3.1o-1) (f-SW.1.3.4.2a - f-SW.1.3.4o-1)		
Uszkodzenia niewkrywalne	f-SW.1.3.4.5s		

Tabela 6: Zestawienie wykrywalności i rozróżnialności uszkodzeń

Poziom dekompozycji		Uszkodzenia rozróżnialne	Uszkodzenia warunkowo rożnialne	Uszkodzenia nierozróżnial.	Uszkodzenia niewkrywalne
Górny	Dolny				
SW.1	SW.1.1	4	0	4	2
SW.1	SW.1.2	4	0	6	0
SW.1	SW.1.3	9	3	2+2	2
SW.1	SW.1.4	8	2	2	7
SW.2	-	8	6	6	0
SW.3	-	8	6	6	0

4. STRUKTURA SYSTEMU AMandD

Uproszczony schemat kooperacji modułów systemu diagnostycznego AMandD wykorzystanych w opisywanej aplikacji przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schemat budowy modułowej systemu AMandD

Zmienne procesowe są pobierane z systemu sterowania i monitorowania OSA-2 przez specjalnie wykonany moduł wejść-wyjść OSALink. Następnie, aktualne wartości zmiennych procesowych dostarczane są do dwóch modułów obliczeniowych:

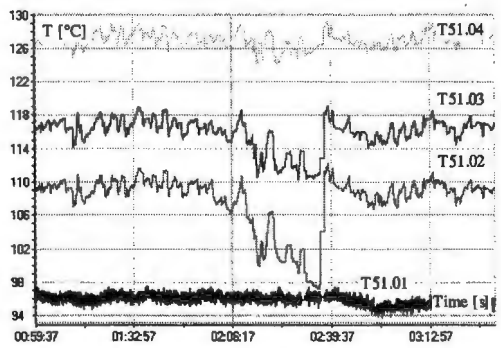
- Moduł MITforRD realizuje obliczenie wyjść cząstkowych modeli fragmentów procesu. Na tej podstawie wyznaczane jest zbiór odtworzonych (symulowanych) zmiennych procesowych P* oraz zbiór residuów bazujących na modelach R^M.
- Moduł PVCalcPaths realizuje algorytmy heurystycznych testów diagnostycznych. Oblicza on zbiór residuów R^H.

Obliczone wartości residuów dostarczane są do modułu lokalizacji uszkodzeń iFuzzyFDI. Moduł ten odpowiedzialny jest za dokonanie rozmytej oceny residuów oraz przeprowadzenie rozmytego wnioskowania diagnostycznego. W wyniku jego działania wyznaczany jest zbiór współczynników pewności uszkodzeń F.

Wszystkie zmienne procesowe, zmienne symulowane, wartości residuów oraz współczynników uszkodzeń dostarczane są do modułu wizualizacji InView. W module tym przygotowane są miedzy innymi podstawowe ekrany diagnostyczne, na których sygnalizowane są wykryte w systemie uszkodzenia. Z ekranów tych mogą korzystać operatorzy procesu.

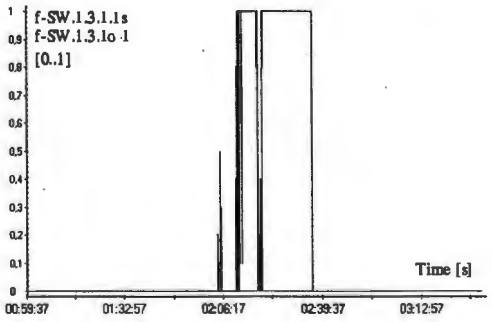
5. TESTY SYSTEMU

Poniżej podano przykład detekcji i lokalizacji uszkodzenia ogrzewacza I. Na rys. 6 pokazano przebiegi zmiennych procesowych bezpośrednio związanych z tym ogrzewaczem. Jest na nich widoczny wyraźnie okres czasu, w którym przyrost temperatury soku w tym ogrzewaczu (T51.02 – T51.01) zmalał. W tym samym czasie, na pozostałych ogrzewaczach, nie zaobserwowano spadku przyrostu temperatury poza założone granice. Obrazowane zakłócenie pracy procesu zostało spowodowane chwilowym wyłączeniem ogrzewacza I.



Rys. 6. Wybrane zmienne procesowe związane z działaniem sekcji ogrzewaczy.

W wyniku przeprowadzonego wnioskowania system diagnostyczny wskazał dwa uszkodzenia nierozróżnialne: czujnika T51.01 oraz ogrzewacza I. Wyznaczone przebiegi czasowe współczynników pewności obu tych uszkodzeń pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Przebieg współczynnika pewności wystąpienia uszkodzenia

6. PODSUMOWANIE

Do skonfigurowania i dostrojenia systemu diagnostycznego wykorzystane zostały dane z normalnej pracy instalacji. Wykorzystanie danych archiwalnych z poprzednich lat było ograniczone ze względu na zmiany w strukturze procesu oraz ograniczenia w eksporcie danych z systemu SCADA. Ze względu na to system osiągnął pełną użyteczność pod koniec kampanii, która trwa około dwóch miesięcy.

Podczas definiowania testów diagnostycznych założono pełną zdatność instalacji technologicznej. Po uruchomieniu systemu natychmiast wskazał on kilka uszkodzeń, głownie torów pomiarowych gęstości soku. Diagnoza była zgodna z przypuszczeniami operatorów. Potwierdziło to poprawność konfiguracji i działania systemu. Ponieważ nie było możliwości naprawy uszkodzonych komponentów system został zrekonfigurowany. Uszkodzenia te zostały wyłączone po to, aby system w czasie normalnej pracy nie wskazywał żadnych uszkodzeń.

Podczas krótkiego okresu, w którym system był użytkowany instalacja technologiczna oraz system pomiarów i automatyki działał prawidłowo – żadne dodatkowe uszkodzenie nie wystąpiło. Prezentowany przykład wykrycia i lokalizacji uszkodzenia (rozdział 5) został zrekonstruowany na podstawie archiwalnych danych z poprzedniej kampanii. Algorytmy diagnostyczne powinny działać prawidłowo w czasie następnych lat. Ponieważ czas pomiędzy kampaniami jest wykorzystywany na konserwację, a czasem i modernizację instalacji technologiczne, możliwe, że konieczne będzie nieznaczne dostrojenie systemu diagnostycznego podczas pierwszych dni po ponownym uruchomieniu instalacji.

CURRENT DIAGNOSTICS OF THE EVAPORATION STATION

Abstract: The paper presents structure and algorithms of the system of current diagnosis of the evaporation station in the Lublin Sugar Factory. The applied fault detection algorithms are based on the set of partial parametric models, the set of heuristic dependencies describing process behaviour and the hardware redundancy. The isolation algorithm implements fuzzy reasoning based on the diagnostic rules given by the expert. All the diagnostic algorithms are carried out by the modules of Advanced Monitoring and Diagnostic System AMandD. The achieved fault detectability and isolability analysis and some test results are also presented.

Literatura

[1] Korbicz J., Kościelny J. M., Kowalczuk Z., Cholewa W. (2004) *Fault Diagnosis: Models, artificial intelligence methods, applications*. Springer.

[2] Kościelny J. M., Syfert M. (2003a) *On-line fault isolation algorithm for industrial processes*. Preprints of: 5th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes - SAFEPROCESS`2003, 9-11.VI.2003, Washington D.C., USA, 777-782.

[3] Kościelny J. M., Syfert M. (2003b) *Fuzzy logic application to diagnostics of industrial processes*. Preprints of: 5th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes - SAFEPROCESS`2003, 9-11.VI.2003, Washington D.C., USA, 771-776.

[4] Wnuk P. (2004) *Genetic Optimization of Structure and Parameters of TSK Fuzzy Models*. International Conference "Mechatronics 2004", Warsaw.

Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk

ISBN 83-89475-01-4