

Predykcyjnie ukierunkowane wektory diagnostyczne

Mariusz Piotr Hetmańczyk

Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania,
Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, Gliwice

Streszczenie: Artykuł zawiera propozycję sformalizowanego zapisu bieżących stanów wybranych parametrów procesu, w formie predykcyjnie ukierunkowanych wektorów diagnostycznych (PUWD). Przedstawiono także analizę oraz wymagania dotyczące zapisu opisywanych wektorów, ze szczególnym uwzględnieniem charakteru współpracy złożonych zespołów maszyn, ukierunkowanego na możliwość odtworzenia struktury zależności (fizycznych oraz informatycznych) pomiędzy poszczególnymi elementami analizowanego systemu. W wektorach zawarto opis ilościowy oraz jakościowy analizowanych podsystemów rozważanego środka technicznego. Formę oraz zawartość danych diagnostycznych (stanowiących podstawę do predykcji) przedstawiono na przykładzie środowiska rozproszonych napędów przemysłowych, stanowiących element wcześniejszych publikacji autora [1–3].

Słowa kluczowe: diagnostyka, monitorowanie, predykcja stanów, systemy rozproszone, wektory diagnostyczne

1. Wprowadzenie

Pośród trzech narzędzi pozwalających na rozpoznawanie stanów przebiegu procesu przemysłowego lub pracy maszyn najprężniej rozwijaną dziedziną jest diagnostyka, połączona z monitorowaniem on-line.

Geneza, z racji dziedziny zadań, jest stosowana na bazie danych diagnostycznych w szczególnych przypadkach. Jednak charakter przebiegu pracy współczesnych procesów przemysłowych (w przypadku obiektów nieodnawialnych) zakłada rezygnację z etapu genezy uszkodzenia, na korzyść wymiany urządzenia na sprawne. Natomiast trudności związane ze zbudowaniem modeli prognostycznych konkretnych maszyn lub urządzeń, eliminują to narzędzie z wielu aplikacji przemysłowych.

Taki stan jest związany z trudnościami dotyczącymi określenia danych historycznych (historii eksploatacyjnej rozpatrywanego urządzenia), brakiem wykwalifikowanego personelu oraz czynnikami związanymi z etapem doboru parametrów modeli prognostycznych (opartych najczęściej na zależnościach statystycznych w postaci hipotez lub modeli matematycznych).

Z drugiej strony wiele ze stanów jest możliwych do przewidzenia na bazie wiedzy eksperckiej (tj. w oparciu o doświadczenie wynikające z obserwacji przebiegu pracy określonych grup maszyn) oraz danych historycznych. Wymaga to jednak zdefiniowania usystematyzowanego podejścia do zbierania danych oraz określenia krytycznych parametrów, które pozwalają na wnioskowanie (w oparciu o dane bieżące) mogące zostać rozszerzone na daną klasę środków technicznych.

W przypadku rozważanego przez autora środowiska rozproszonych napędów przemysłowych zdefiniowano kluczowe parametry pozwalające na zbudowanie modelu predykcyjnego jego zachowań oraz rozszerzenie przyjętego modelu predykcyjnie ukierunkowanych wektorów diagnostycznych (PUWD) na szerszą grupę środków technicznych.

2. Cele wprowadzenia wektorów PUWD

Prognoza stanów środków technicznych powinna opierać się na bieżących przesłankach oraz danych historycznych (budowa przebiegu pracy maszyny lub grupy maszyn), które pozwalają na opracowanie deterministycznego modelu zachowania rozważanego układu w przyszłości (tzw. modelu predykcyjnego).

W wielu przypadkach pogorszenie parametrów pracy jest przesłanką stanowiącą o konieczności podjęcia określonych czynności zapobiegawczych. Szybkość oraz zakres rozwoju konkretnych niesprawności może zostać oparty na bazie doświadczeń (praca z maszynami tego samego typu) w ramach jednego zakładu produkcyjnego (traktowanego jako całość lub podlegającego rozpatrywaniu pod kątem konkretnych działań).

Najważniejszy element stanowi pozyskanie danych, stanowiących zbiór reprezentatywnych przesłanek określających aktualny stan danej grupy środków technicznych, które mogą być jednocześnie potraktowane jako reprezentatywny zbiór historii pracy rozważanego układu.

2.1. Struktura pozyskiwania oraz analizy danych

W opisywanym przypadku rozważane są rozproszone systemy, które można opisać za pośrednictwem następujących cech funkcjonalnych:

- sterowanie za pośrednictwem jednostek nadrzędnych,
- wykorzystanie sieciowej wymiany danych (w układach typu Single lub Multi MASTER),
- akwizycja dane z indywidualnych jednostek, typu SLAVE lub MASTER (wykorzystująca możliwości komputerowego przetwarzania danych procesowych).

Elementem bazowym wykorzystanym do zbierania danych procesowych jest opracowany przez autora Komputerowy System Sterowania i Diagnostyki Napędów Rozproszonych. System KSSiDNR [3] wyposażono w narzędzia pozwalające na zbieranie danych procesowych, diagnozę (z wykorzystaniem systemu eksperckiego, dedykowanego przetwornicom częstotliwości oraz obsługiwanymi przez nie motoreduktorami).

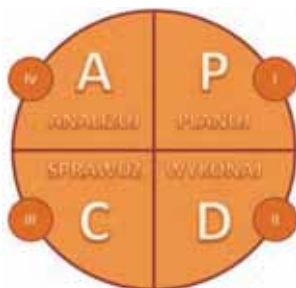
Predykcja stanów jest realizowana w ramach modułu prognostycznego, z odpowiednio zapisanymi regułami priorytetu uszkodzeń (rys. 1).



Rys. 1. Schemat zależności poszczególnych modułów funkcjonalnych oprogramowania opracowanego na bazie założeń proponowanej metody

Fig. 1. A scheme of dependencies of particular functional modules of software elaborated on the basis of selected assumptions of proposed method

Dane historyczne dotyczące przebiegu pracy dają możliwość opracowania grafu przyczynowo-skutkowego, zawierającego wszystkie (lub najważniejsze) stany pracy danego środka technicznego (określające zdatność lub niezdatność oraz zależności przyczynowo-skutkowe pomiędzy zdefiniowanymi stanami). W opisywanym grafie każdy z wierzchołków odpowiada konkretnemu stanowi, a krawędzie scharakteryzowane są przez parametry jakościowe odwzorowujące prawdopodobieństwa wystąpienia kolejnego stanu. W ten sposób na bazie przeszukiwania ścieżek grafu można ustalić przewidywane stany danego urządzenia, pod kątem stanu bieżącego (wierzchołek startowy).



Rys. 2. Cykl Shewharta [4]

Fig. 2. The Shewhart cycle [4]

Cały proces od etapu przygotowania struktury wektorów PUWD, do etapu wnioskowania predykcyjnego jest zgodny z cyklem Shewharta (rys. 2).

Ustalenie parametru (w postaci stanu początkowego), który stanowi element decyzyjny w odniesieniu do predykcji stanów, wymaga zastosowania indywidualnego podejścia, odniesionego do konkretnego procesu lub maszyny. Zazwyczaj określenie stanu początkowego wymaga analizy wielu zmiennych decyzyjnych.

2.2. Definicja Predykcji Ukierunkowanych Wektorów Diagnostycznych

Predykcji Ukierunkowane Wektory Diagnostyczne (PUWD) powinny spełniać kilka podstawowych funkcji, do których można zaliczyć możliwość:

- uniwersalnego zastosowania,
- identyfikacji bieżących stanów kluczowych oraz zmienności ich wartości liczbowych (klasyfikacja bieżącego stanu pracy do postaci odwzorowania w grafie oraz przyporządkowanie do dwóch rozłącznych zbiorów – zdatności oraz niezdatności),
- odtworzenia ścieżki propagacji błędów (w oparciu o zidentyfikowane parametry kluczowe i ich zawartość), na bazie usystematyzowanego zapisu zależności funkcjonalnych systemu (mechanicznych, informatycznych, niezawodnościowych – ścieżki propagacji stanów awaryjnych itp.),
- rejestracji parametrów kluczowych (możliwość wykorzystania systemów bazodanowych), w celu modyfikacji lub opracowania modeli predykcyjnych monitorowanych urządzeń.

W celu określenia zakresu zagadnień pokrywanych przez PUWD można posłużyć się wstępną definicją, w postaci:

PUWD stanowią minimalny uporządkowany zbiór cech identyfikujących badany obiekt (wartości niemierzalnych) oraz przesłanek diagnostycznych (cech mierzalnych i niemierzalnych – ekstensywnych i intensywnych), niezbędnych do realizacji procesu predykcji stanów.

Zaproponowana definicja stanowi formalny zapis warunków koniecznych do opracowania struktury PUWD, jednak pozostawia szerokie pole możliwości odnośnie decyzji dotyczących poziomu złożoności oraz liczby zmiennych krytycznych (w postaci przesłanek diagnostycznych).

3. Zawartość wektorów PUWD

3.1. Etapy określania zawartości wektorów PUWD

Zgodnie z przedstawionymi założeniami, wektory PUWD powinny zawierać dwie podstawowe grupy elementów (pozwalających na odtworzenie struktury funkcjonalnej rozważanego środka technicznego), w postaci zbiorów cech:

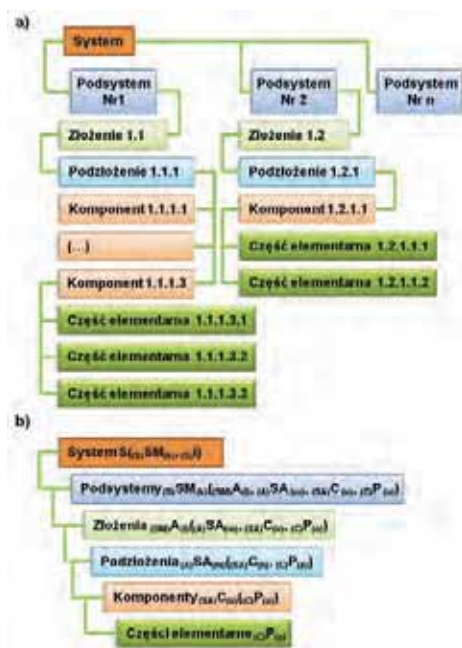
- niemierzalnych – zapisu struktury fizycznej zgodnej z metodologią FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) [4],

- mierzalnych – wartości kluczowych parametrów pozwalających na ocenę stopnia zużycia lub stanu podsystemów oraz całkowitej liczby elementów (zidentyfikowanej na podstawie dekompozycji).

Istotnym składnikiem unifikującym zapis strukturalny wektorów PUWD jest zastosowanie metodologii FMECA, która zakłada podział analizowanego systemu na elementy składowe (rys. 3).

Poprawna identyfikacja bieżących stanów systemów przemysłowych powinna obejmować określenie:

- podstawowego zakresu działania konkretnego systemu (wyznaczenie podsystemów oraz ich zależności, granic oraz struktur stopnia dekompozycji) oraz charakteru współdziałania z innymi systemami technicznymi,
- mocy zbioru parametrów identyfikujących stan analizowanych obiektów (tj. minimalnej zawartości zbioru zmiennych decyzyjnych – analizowanych na etapie diagnozy oraz prognozy),
- zakresu wartości liczbowych (przyjmowanych przez parametry), pozwalającego na stwierdzenie poprawności opracowywanej diagnozy (warunek detekcji bieżącego stanu oraz przyporządkowania do grup zdadności lub niezdatności).



Rys. 3. Podział systemu według metodologii FMECA: a) widok zgodny z MIL-STD-1629A, b) widok zorientowany na metody grafowe

Fig. 3. A system division in accordance with the FMECA methodology: a) view consistent with the MIL-STD-1629A standard, b) view matching to the graph oriented methods

Wymienione kroki stanowią jednocześnie wytyczne do opracowania zawartości wektorów PUWD.

3.2. Struktura wektorów PUWD

Złożoność elementu PUWD jest zależna od konkretnej aplikacji, jednak w celach możliwości dopasowania do

szerszego grona zastosowań opracowano sformalizowany zapis, pozwalający na użycie notacji w ramach różnych grup środków technicznych.

Ogólną strukturę wektora PUWD można przedstawić za pomocą uproszczonego wzoru:

$$V_{PUWD} = [[Id_{SM}(s, SM_k)]^T [Id_{ST}(s, SM_k)]^T [D_{diag}]] \quad (1)$$

Zawartość wektora PUWD:

- $Id_{SM}(s, SM_k(Par=Id_{el}))$ – wektor zawierający dane niemierzalne systemu (indywidualne znaczniki Id_{el} oraz kody podziałów elementów, wyodrębnionych zgodnie z metodologią FMECA),
- $Id_{ST}(s, SM_k(Par=No_{el}))$ – wektor ilościowego opisu rozważanego systemu zawierający liczbę elementów w ramach zdefiniowanej struktury,
- D_{diag} – wektor danych diagnostycznych (definiowany w sposób indywidualny, w odniesieniu do danego przypadku).

Dane niemierzalne stanowią opis struktury rozważanego środka technicznego pozwalający na budowanie struktury grafowej (odtworzenie postaci funkcjonalnej).

Struktura części wektora PUWD (wektora danych diagnostycznych) została przedstawiona na rys. 4.



Rys. 4. Struktura: a) podstawowych danych diagnostycznych przetwornic częstotliwości, b) rozszerzonych danych diagnostycznych, gdzie: Nuz – nazwa użytkownika, Padm – poziom uprawnień, Db – data, Cb – czas bieżący, Nord – numer porządkowy stacji SLAVE, EprfAddr – błąd adresu sieciowego, Endor – błąd numeru porządkowego stacji SLAVE, Ealkd – kod alarmu, Ealld – długość informacji alarmowej, Ealtp – typ alarmu, Ealsn – numer gniazda stacji SLAVE, Enext – numer rozszerzonej informacji diagnostycznej, Eextdl – długość danych rozszerzonej informacji diagnostycznej, Eiden – numer identyfikacyjny jednostki SLAVE

Fig. 4. A structure of: a) basic entry error patterns of the frequency inverter, b) extended entry error patterns of the frequency inverter, where: Nuz – a user name, Padm – authorization level, Db – date, Cb – current time, Nord – ordinal number of the SLAVE unit, EprfAddr – network address error, Endor – ordinal number error of the SLAVE unit, Ealkd – alarm code, Ealld – length of the alarm information, Ealtp – alarm type, Ealsn – socket number with an active error state, Enext – extended diagnostic information code, Eextdl – data length of the extended diagnostic information, Eiden – identification number of SLAVE unit

W rozważanym przypadku czynnikami determinującymi bieżący stan jednostki, są elementy związane z kodami błędów generowanymi przez jednostki SLAVE (przetwornice częstotliwości). Następnie na podstawie reguł identyfikowany jest bieżący stan oraz realizacja przeszu-

kiwania grafu przyczynowo-skutkowego, pozwalające na określenie ścieżki przewidywanych następstw konkretnej awarii lub rozstrojenia układu [5].

Wzorzec wpisu błędów (rys. 4) jest częścią wektora PUWD definiującą charakter i kolejność zapisu poszczególnych kodów błędów do bazy danych historycznych.

Rejestracja wpisów jest realizowana po każdorazowej zmianie wartości znacznika błędu oraz aktywnym żądaniu rejestracji wpisów błędów lub w ustalonych odstępach czasu (z krokiem zdefiniowanym przez użytkownika systemu).

W przypadku zbioru napędów rozproszonych wzorzec wpisu podzielono na dwie podgrupy, w postaci wzorca:

- **podstawowego** – zapis wartości błędów diagnozy jednostek SLAVE (przetwornic częstotliwości oraz układów przez nie obsługiwanych),
- **rozszerzonego** – zapis wszystkich danych zdefiniowanych w zakresie jednostki SLAVE, rozszerzony o wartości zmiennych identyfikujących błędy informacji diagnostycznej jednostki MASTER.

Wszystkie błędy zostały podzielone na trzy odrębne dziedziny, pod kątem przyczyny (źródła), co doprowadziło do wyodrębnienia następujących grup niesprawności:

- **AE-PTE** – błędy aplikacji typu programowego,
- **EE-HTE** – błędy wyposażenia (sprzętowe),
- **CE-OTE** – błędy złożone (stanowiące połączenie dwóch grup AE-PTE oraz EE-HTE).

Błędy aplikacji oraz typu sprzętowego związane są z następującymi przesłankami:

- nieprawidłowa konfiguracja jednostek, błędy ładowania programów oraz ustawień (parametrów), przepełnienie zasobów pamięci, błędy zakończenia działania lub rozpoczęcia akcji programowych,
- błędy konwersji danych, ustawień, zmiany trybu,
- błędy magistral sieciowych oraz błędy samodiagnostyki zasobów sprzętowych (obwodów elektronicznych, energoelektronicznych, magistrali zasilania, itp.),
- nieprawidłowej: konfiguracji zasobów sprzętowych warstwy wykonawczej aplikacji, pracy nadzorowanych jednostek (np. zanik napięcia zasilającego lub fazy, itp.).

4. Wnioski

Zaprezentowana forma predykcji ukierunkowanych wektorów diagnostycznych pozwala na usprawnienie wnioskowania diagnostycznego, a także na zbieranie danych pomocnych w fazie predykcji stanów. Istotnym elementem jest założenie modelu predykcyjnego opartego na podstawie wiedzy eksperckiej zapisanej w postaci prawdopodobieństwa uszkodzeń określonych podsystemów rozważanego środka technicznego.

Bibliografia

1. Świder J., Hetmańczyk M., *Adaptation of the expert system in diagnosis of the connection of the PLC user interface system and field level*. Solid State Phenome-

na, Vol. 164 (Mechatronic Systems and Materials: Mechatronic Systems and Robotics), 2010, 201–206.

2. Świder J., Hetmańczyk M., *Method of indirect states monitoring of dispersed electric drives*. BINDT, 2009, 1171–1179.
3. Świder J., Hetmańczyk M., *Komputerowo zintegrowany system sterowania i diagnostyki napędów rozproszonych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
4. Praca zbiorowa zespołu Room Laboratory. *Rome Laboratory Reliability Engineer's Toolkit*. Systems Reliability Division Rome Laboratory Air Force Materiel Command (AFMC), 1993, 77–128.
5. Bloom N. B.: *Reliability Centered Maintenance (RCM) Implementation Made Simple*, McGraw-Hill, USA, 2006. ■

The prediction oriented diagnostic vectors

Abstract: The paper contains a proposal for a formalized notation of the current states of selected process parameters, in the form of the prediction oriented diagnostic vectors (PUWD). The author presents also an analysis and the recording requirements in case of described vectors, with particular emphasis on the nature of the co-operation of complex assemblies of machines, focusing on the ability to trace the structure of the dependencies (physical and informational) between elements. The vector contains a description of the quantitative and qualitative consideration of the analyzed subsystems of technical agents. The form and contents of diagnostic data (as a basis for prediction goals) is shown on the example of an industrial distributed drives environment.

Keywords: diagnosis, monitoring, states prediction, distributed systems, diagnostic vectors

dr inż. Mariusz Hetmańczyk

Otrzymał tytuł doktora nauk technicznych w 2011 roku na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej. Obecnie jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Instytutu Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania. Naukowe zainteresowania skupione są wokół zagadnień automatyki, sterowania, mechatroniki, diagnostyki przemysłowej, predykcji stanów bazującej na metodach grafowych oraz technologii MEMS. Jest autorem wielu publikacji związanych z komputerowym wspomaganiem diagnozy oraz prognozy rozproszonych systemów mechatronicznych.
e-mail: mariusz.hetmanczyk@polsl.pl

