

## WEKTOR INNOWACJI W DIAGNOZOWANIU

Piotr KRZYWORZEKA

Katedra Mechaniki i Wibroakustyki AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, [krzyworz@agh.edu.pl](mailto:krzyworz@agh.edu.pl)

### Streszczenie

Wektor innowacji może stanowić użyteczny opis rezultatów identyfikacji diagnostycznej obiektu w zmiennych warunkach eksploatacji. Reprezentuje kierunek minimalizujący wrażliwość odwzorowań lokalnych na zmiany nieinformacyjne.

Wprowadzono jednolitą reprezentację różnych rodzajów zakłóceń właściwych diagnozowaniu i zastosowanie procedurę rzutowania optymalnego. Odwzorowanie w kierunku innowacji pozwoliło w praktyce zredukować o kilka rzędów wpływ zakłóceń związanych ze zmiennymi warunkami pracy. Opisana metoda generuje także wskaźnik jakości informatywnych współrzędnych wektora obserwacji, co pozwoliło zweryfikować skuteczność prostej procedury selekcji danych. Podano przykłady zastosowań.

Słowa kluczowe: diagnostyka, identyfikacja, rzutowanie optymalne, innowacja.

### INNOVATION VECTOR IN DIAGNOSTICS

#### Summary

Some changes of signal features that don't occur in proper technical state are called innovative. The paper aims to show that in some identification experiments innovation vector  $c_0$  represents direction of maximum SNR especially towards variable exploitation state. A method of  $c$  estimation using optimal projection has been discussed. Based on  $c_0$  one-dimensional subspace simplifies symptoms and diagnostic discrimination. A bit of practical results is presented.

Key words: diagnostics, identification, optimal projection, innovation.

## 1. ODWZOROWANIE DIAGNOSTYCZNE

### 2.1. Pojęcie innowacji

Składowa lub cecha sygnału, której zmienność odtwarza zmianę parametrów stanu w sensie statystycznym, lub zdeterminowanym określaną będzie dalej mianem innowacyjnej, a informacja o niej wartościową dla diagnozowania [8].

Tu i dalej pojęcie, ZI odnosi się do procesów drganiowych maszyny. Oznacza zmienność, która jest w dobrym stanie technicznym praktycznie niemierzalna, jakie by nie były zmiany warunków pracy. Determinuje zatem ZI pośrednią mierzalność własności stanu technicznego oznaczanej dalej  $W_1$ .

Proponowana interpretacja pojęcia innowacji odnosi się sytuacji, gdy stan techniczny staje się mierzalny, inaczej mówiąc dotyczy odwzorowania lokalnego, umożliwiającego rozróżnienie dwu klas  $W_1$ . Takie podejście bliskie jest koncepcji procesu innowacyjnego Kołmogorowa (1941), rozwiniętej w latach 1969 - 70 przez Kailatha (por. Haykin [3]). Różnice nie dotyczą jednak jedynie interpretacji. Diagnostyczny wektor innowacji zachowuje ortogonalność względem podprzestrzeni stanu eksploatacyjnego, lecz może stanowić realizację procesu o predyktownym trendzie.

Tworzone w wyniku procedury identyfikacji diagnostycznej struktury odwzorowujące wybrane własności obiektu powinny umożliwić mierzalność zmian innowacyjnych

### 2.2. Model nominalny

W hierarchii modeli przydatnych w opisie systemu, model najbardziej ogólny desygnuje jedynie nazwy własności (cech), związanych z różnymi aspektami jego zachowań – stąd określane bywa modelem nominalnym – MN [7].

Maszyna ma wiele własności – jeszcze więcej, gdy działa nie za dobrze. Jednak potrzeby skutecznego diagnozowania prowadzą do akceptowalnego (zdaniem autora), modelu nominalnego minimum [8]

$$MN = \langle W_1, W_2, W_3, W_E, W_w \rangle$$

[W1] – zbiór cech diagnozowalnych, umownie reprezentowany dalej przez własność ogólną stanu  $W_1$ . Klasy  $W_1$  opisują stan techniczny wg przyjętej skali.

[W2] – cechy związane z funkcjonowaniem obiektu – ruchem, dynamiką i sterowaniem. Reprezentują procesy odwracalne, zmienne w skali czasu  $t'$ , ale zdeterminowane w sensie znajomości

i kontroli przyczyn – stąd określone też mianem zakłóceń zdeterminowanych. Generalnie utrudniają diagnozowanie, ale właściwe wykorzystanie ich kontrolowanej zmienności w eksperymencie czynnym PDI, a także w trakcie monitorowania, pozwala uzyskać symptomy stanu mało wrażliwe, np. na zmiany prędkości obrotowej, lub obciążenia maszyny [7, 8].

[W3] – zbiór niekontrolowanych cech zakłócających reprezentujących procesy bezpośrednio niesterowalne, niezamierzone i nieinformacyjne (stąd miano zakłócenia niezeterminowanego).

$W_w$  – własność wspomagająca odwzorowanie. Pominięta zakłóca, właściwie wykorzystana pozwala uzyskać lokalne odwzorowanie własności innej, lepsze w sensie wybranego kryterium. Powinna być mierzalna, a także odtwarzalna w systemie diagnozującym. Jedną z ważnych  $W_w$  jest synchronizm [8].

$W_E$  – dotyczy strategii działań (planu eksperymentu identyfikacji – PE).

$W_E$  nie stanowi immanentnej własności obiektu, lecz decyduje o stopniu mierzalności wybranych składowych modelu (1). Od wyboru PE zależy, w jakim stopniu eksperyment odwzorowuje rzeczywiste własności obiektu, a w jakim działanie eksperymentatora.

### 2.3. Odwzorowanie własności MN

Warunkiem użyteczności postulowanego MN (3.1) jest mierzalność składowych.

Składowe MN, za wyjątkiem  $W_E$ , nie są mierzalne bezpośrednio, lecz poprzez inne własności zbioru obserwacji  $\Lambda = [\xi]$ , zwane dalej odwzorowującymi.

Wiele przesłanek, w tym doświadczenie, wskazuje, że odwzorowanie MN w czynnych eksperymentach identyfikacji zmian innowacyjnych jest natury deterministyczno-probabilistycznej (Det-Pro) [6,7]. o dominacji tej pierwszej

Jeśli

$$\frac{E_Z}{E_L} \gg 1$$

$E_Z$  – energia zmian zamierzonych, zorientowanych

$E_L$  – energia zmian losowych, lub niekontrolowanych

wówczas obiekty, lub odwzorowania, określane będą dalej jako quasi – deterministyczne.

W przypadku odwzorowania oznacza to możliwość przybliżenia wielomodalnego rozkładu pewnego wektora obserwacji  $\xi$  (charakterystyki pomiaru) przez strukturę odwzorowującą  $S_0$

$$S_0 = \langle \Lambda, [K_j], \mathcal{R}_S | W_E \rangle \quad (1)$$

$\Lambda$  – zbiór wartości średnich  $\xi$  w przedziałach obserwacji  $T_k$  obserwacji,

$\mathcal{R}_S$  – zbiór relacji determinujących strukturę odwzorowującą  $S_0$ ,

$K_j$  – macierze kowariancji estymat  $\xi_j$

Relacje zbioru  $\mathcal{R}_S$  wyznacza odwzorowanie  $W_E$ , tj. po prostu realizacja planu eksperymentu PDI

Przyrost wektora obserwacji:

$$\Delta_{kj} = \xi_j(t_k) - \xi_{j-1}(t_i). \quad (2)$$

określany będzie dalej jako wartościowy –  $\Delta_{1j}$ , jeśli:

- odwzorowuje zmianę klasy  $WS1_k \Rightarrow WS1_j$  rozpoznawanej własności  $W1$  stanu technicznego obiektu;
- eksperyment, lub analiza pozwalają odróżnić zmianę wartościową  $\Delta_1$  od zakłócającej, (tj. zachowań dopuszczalnych);

Reasumując, ma miejsce odwzorowanie własności:

$W1 \Rightarrow \Delta_1$  – wartościowy przyrost wektora obserwacji;

$W2 \Rightarrow \Delta_2$  – zakłócający przyrost wektora obserwacji;

$W3 \Rightarrow K = E(\xi\xi^T)$  – macierz kowariancji

W przestrzeni  $\Xi$  wektora obserwacji  $\xi$  odwzorowanie czynnego, lub symulacyjnego eksperymentu czynnikowego PDI, zakładającego dwupoziomowe sterowanie  $W1$  i  $W2$ ,  $S_0$  reprezentują lokalnie obiekty:  $\langle \Delta_1, [\Delta_{2j}], K_j \rangle$ .

Odwzorowanie lokalne pozwala rozróżnić dwie kolejne klasy (kategorie)  $W1$  według stosowanej skali nominalnej [6]

W zmiennych warunkach pracy obiektu ma jednocześnie miejsce odwzorowanie lokalne  $W2$

$W3$  bywa odwzorowywane w praktyce zawsze.

Quasi-deterministyczny model odwzorowania implikuje warunek

$$\frac{\max \|\Delta_{jk}\|^2}{\|K\|} \gg 1.$$

Dla przejrzystości dalszych rozważań wygodnie posłużyć się geometryczną interpretacją odwzorowania MN, jak np. przedstawioną na rys 1 serią powtórzeń ułamkowych eksperymentu czynnikowego  $2^2$  [10].  $B$  to łączna reprezentacja odwzorowania  $W2$  i  $W3$ , (o czym dalej w p. 2)

## 2. ESTYMACJA KIERUNKU INNOWACJI

### 2.1. Lokalna ocena odwzorowania

Model odwzorowania powinien ułatwić badanie zmienności innowacyjnej (ZI).

Przy danej strategii eksperymentu PDI istnieje w obszarze  $\Xi$  kierunek najkorzystniejszego odwzorowania ZI.

Najkorzystniejszego w jakim sensie ?  
 Ograniczając diagnozę do lokalnego rozróżnienia  
 dwu klas stanu – I, albo II na podstawie pomiaru  $\xi_k$ ,  
 warto podjąć próbę oceny wartości informacji  
 pozwalające na przyjęcie jednej z dwu hipotez,  $H_I|$   
 $\xi_k$ , lub  $H_{II}| \xi_k$ , nawet, jeśli oszacowania ich  
 prawdopodobieństw:

$$P_1 = P(\xi_k|H_1), \quad P_2 = P(\xi_k|H_2)$$

także *a posteriori* nie są znane.

Zaproponowana przez Kullback'a [5,9]  
 formuła:

$$Q_{21} = \sum_{k=1}^N (P_{1k} - P_{2k}) \log \frac{P_{1k}}{P_{2k}}; \quad (3)$$

gdzie  $Q_{21}$  – miara zróżnicowania odwzorowania  
 lokalnego dwu klas własności  $W1$ , wyraża przy  
 założonej znajomości parametrycznego modelu  
 losowego ocenę entropii Shannona różnicy  
 rozkładów  $P_1, P_2$  dla wszystkich obserwacji  
 $\xi_k \in \Xi$ .

Wybór  $Q_{21}$  sugerują jej własności, istotne dla  
 proponowanych dalej modyfikacji i obszaru  
 zastosowań, a przede wszystkim:

- addytywność informacji wnoszonych przez  
 poszczególne obserwacje  $\xi_k$ ;
- możliwość adaptacji dla opisu  
 przybliżonego modelu Det-Pro, a ściślej  
 jego odwzorowaniu lokalnemu (por. rys. 1).

Dopuszczalna w modelu Det-Pro lokalna  
 aproksymacja nieznanego modelu dwumodalnego  
 rozkładami normalnymi.

$$\mathcal{N}_1[E(\xi_{k1}), K_{y1}] \quad \text{oraz} \quad \mathcal{N}_2[E(\xi_{k2}), K_{y2}],$$

pozwała pominąć nieznaną *a priori* zbiór  
 prawdopodobieństw  $[P_1, P_2]$ , zastępując je *a*  
*posteriori* obiektami struktury odwzorowującej (2),  
 (przyrostami  $\Delta(\xi)$  i formami kwadratowymi

$$\xi^T K \xi = 1, \quad Q \text{ przyjmuje wówczas postać:}$$

$$Q_{21} = \frac{1}{2} \text{tr}[(K_1 - K_2)(K_2^{-1} - K_1^{-1})] + \frac{1}{2} \text{tr}[(K_1^{-1} + K_2^{-1})(\Delta \Delta^T)]$$

(Tu  $\Delta = \Delta_1$ , natomiast  $\Delta_2 = 0$ ).

Założenie jednorodnego odwzorowania  $W3$   
 w całym obszarze  $\Lambda$ , zatem równość

$$K_{y1} = K_{y2} = K,$$

sprowadza postać  $Q_{21}$  do prostej formy  
 kwadratowej

$$q_{21} = \Delta^T K^{-1} \Delta \quad (4)$$

znanej jako miara Mahalanobisa [6, 9]. Nie  
 obejmuje ona ewentualnej zmienności  
 innowacyjnej dla  $\delta K \neq 0$ , która nie może być  
 pominięta, jeśli  $\Delta_2 = 0$ , co z kolei pozostaje w  
 sprzeczności założeniem (2)

Potrzebna jest, zatem modyfikacja (por. [9]).  
 reprezentacji zakłóceń, która by uwzględniała oba  
 ich rodzaje.

## 2.2. Rzutowane optymalne

Poszukiwany kierunek zmian innowacyjnych  
 reprezentuje wektor  $c_0 \in \Xi$ , który maksymalizuje  
 stosunek

$$q_1 = \max \frac{c^T \Delta_1 \Delta_1^T c}{c^T K c + \sum_{k=1}^{\mu} c^T \Delta_{2k} \Delta_{2k}^T c} \quad (5)$$

co odpowiada maksimum funkcjonału

$$J(c) = c^T \Delta_1 \Delta_1^T c - \lambda [c^T (K + \sum_{k=1}^{\mu} \Delta_{2k} \Delta_{2k}^T) c - 1]$$

Potwierdzona w praktyce quasi-deterministyczna  
 natura odwzorowania może uzasadniać celowość  
 jednej reprezentacji dwu kategorii zakłóceń,  
 określanej jako uogólniona macierz kowariancji  $B$   
 [8].

$$B = K + \sum_{k=1}^{\mu} \Delta_{2k} \Delta_{2k}^T \quad (6)$$

Składowe  $B$  reprezentują różne stopnie  
 organizacji energii zakłóceń rozróżnianych przez  
 MJ jako  $W2$  i  $W3$ .

Poszukiwane  $[c_0, \lambda]$  są rozwiązaniem równania

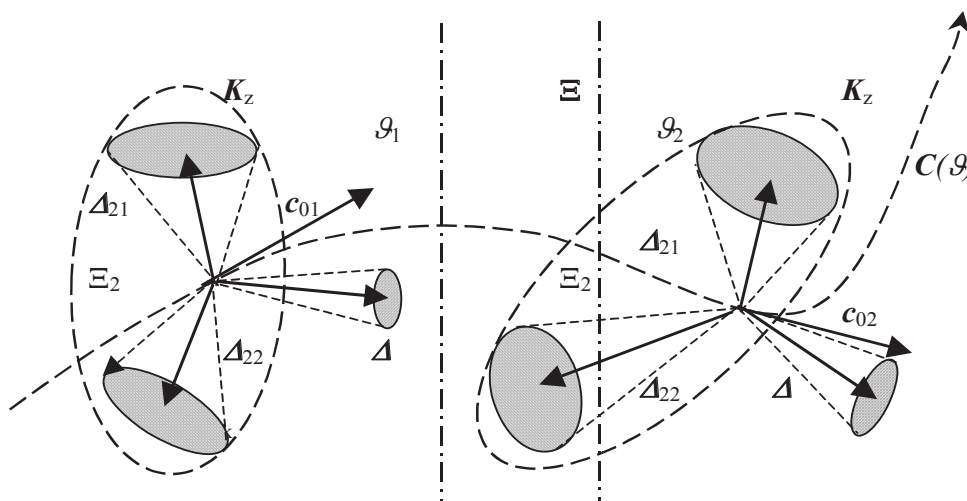
$$\nabla_c J = 2(\Delta_1 \Delta_1^T - \lambda B) c$$

postaci

$$\lambda = \text{tr} B^{-1} \Delta_1 \Delta_1^T = \Delta_1^T B^{-1} \Delta_1 = q_1$$

stąd

$$c_0 = B^{-1} \Delta_1 \quad (7).$$



Rys. 1. Odwzorowania lokalne składowych MN w:

- eksperymencie monitorowania, wówczas  $\Delta = \Delta_{23}$ ;
- czynnym eksperymencie PDI, wówczas  $\Delta = \Delta_1$ ;
- $C(g)$  – linia innowacji w czasie eksploatacyjnym

### 3. MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA

Zbiór par,  $\langle c_0, q_1 \rangle$  pozwala ocenić ilościowo pewne cechy odwzorowania W1, istotne dla korekty PE, zwłaszcza w trakcie długoterminowego monitorowania.

Wektor  $c_0$  stanowi bazę jednowymiarowej podprzestrzeni  $U \subset \Xi_0$

$$c_0^T(\xi)\Delta_1(\xi) = \Delta(u) \in U$$

Transformacja taka ułatwia dyskryminację i klasyfikację W1.

Wektor  $\Delta_1$  nie musi i zazwyczaj nie ma kierunku tożsamego z  $c_0$ . Innowacyjna jest jego składowa kolinearna.

Jeśli

- $\Delta_{\xi_1}$  jest znany, rzut  $\Delta_{\xi_1} \Rightarrow c$  minimalizuje SNR w sensie (5);
- $\Delta_{\xi_1}$  nie jest znany, to zmianę normalną  $\frac{\partial [c(g)]}{\partial g}$  można uznać za innowacyjną.

Wówczas, powtarzając w momentach inspekcji  $\mathcal{G}_k$  podobne konfiguracje [WS2] (parametrów sterowania) można oszacować każdorazowo kierunek  $c_0$ , jako ortogonalny do podprzestrzeni rozpiętej na wektorach  $\Delta_{2n}$  [WS2<sub>n</sub>].

Procedura rzutowania stanowi optymalny filtr zakłóceń W2 i W3, o poziomie skuteczności

$$L_{qw}(\text{dB}) = 10 \lg(qw), \text{ który poprawia SNR w}$$

stopniu:  $qw = \frac{q_1}{q_0}$  w odniesieniu do SNR

bezkierunkowego.

$$q_o = \frac{\|\Delta_1\|^2}{\|\mathbf{K}\| + \sum_1^n \|\Delta_{2j}\|^2} \quad (8)$$

Jeśli pogorszeniu stanu technicznego maszyny towarzyszy ewolucja  $\mathbf{K}$ , dla jej śledzenia lepsze wydają się metody analizy czynnikowej. Lokalnie kierunek zmian innowacyjnych wyznacza wówczas wektor własny odpowiadający największej wariancji.

Dokładne zbadanie liniowości przetwarzania W1  $\Rightarrow$  WO1 wymaga bezpośredniej mierzalności W1 w skali wyższego rzędu. Nie zawsze jest to możliwe, a niekiedy dla dobrego diagnozowania niepotrzebne.

Można mówić o:

- niezmienności kierunku ZI
- niezmienności zróżnicowania odwzorowań kolejnych klas stanu
- inwariantności,  $c \cong c_0$  względem zmian W1, W3, stąd  $B(\xi_k) = \text{const}$  w pewnym obszarze  $\Xi_0$ .

Wówczas funkcja dyskryminująca  $\varphi$ , rozdzielająca 1 · odwzorowania klas W1 jest linią prostą (por rys 2 II.)

Nieliniowość może dotyczyć operacji kodowania W1. Przykładem są tu modulacje nieinformacyjnych sygnałów drganiowych maszyny [8]. Wówczas estymacje  $\xi$  powinna poprzedzać wstępna filtracja, lub demodulacja sygnałów mierzonych.

#### 4. SELEKCJA INNOWACYJNYCH WSPÓLRZĘDNYCH WEKTORA $\xi$

##### 4.1 Wskaźnik optymalizacji

Dla przypadków adekwatnych modelowi Det-Pro, macierze  $B$  są zazwyczaj źle uwarunkowane,  $\text{cond}B \gg 1$ , co jest wynikiem dobrego, (ale nie dla celów diagnozowania) odwzorowania zmian W2.

Obecne techniki i możliwości obliczeniowe pozwalają pominąć niekorzystny wpływ złego uwarunkowania  $B$  na uchyb estymacji kierunku  $c$ . Można natomiast wykorzystać  $\text{cond}B$  dla selekcji współrzędnych  $\xi$ , przyjmując:

$$q_2 = \frac{1}{\text{cond}B} \quad (9)$$

jako wskaźnik dopasowania odwzorowania eksperymentu do odwzorowania W1

Addytywność informacji wnoszonych przez poszczególne obserwacje  $\xi_k$  stanowi cenna własność wskaźnika  $q_1$ , która pozwala oszacować informacyjną cenność pojedynczej współrzędnej ' $\xi_j$ ' poprzez przyrost  $q$ , jaki jej udział powoduje. Jest natomiast  $q_1$  niemalejącą funkcją wymiaru wektora  $\xi$ , co utrudnia jego bezpośrednie wykorzystanie dla selekcji optymalnego podzbioru.  $N$  współrzędnych

$$[\xi_i]_n \subset [\xi_i]_m \quad n < m \quad m = \dim(\xi)$$

Zauważmy jednak, że  $q_2$ , jako niemalejąca funkcja  $\dim(\xi)$ , może posłużyć dla utworzenia wskaźnika syntetycznego

$$q = q_1 q_2 \quad (9)$$

którego maksimum dla podzbioru  $[\xi_i]_n$  reprezentuje kompromis prostoty i informacyjności lokalnego odwzorowania W1 w obszarze wyznaczonym przez wektory  $\xi$ .

##### 4.2. Algorytm selekcji $\xi_i$

Przyjmując zasadę, że postępowanie optymalne jest optymalne na każdym etapie można zamiast poszukiwania maksimum globalnego, zastosować metoda selekcji i dodawania pojedynczych współrzędnych, zachowując na każdym kroku podzbiory  $[\xi_i]_j$ , dla których ma miejsce

$$\max \Delta q_j = q(j) - q(j-1)$$

do uzyskania pierwszego maksimum wskaźnika jakości wyboru

Autor przeprowadził szczegółową analizę teoretyczną warunków efektywności procedury optymalnego wyboru opartego o wskaźnik  $q$ , w

szczegółności wymagań, odnośnie  $B$ . Należy przyjąć założenie, że dla obiektu znajdującego się w określonym momencie czasu eksploatacyjnego, lub ustalonym stanie technicznym, zmiany wartości współrzędnych wektora  $\xi$  są skorelowane głównie w wyniku zmian sterowalnych W2 [8].

Można zatem pominąć elementy niediagonalne  $K$  i rozpocząć wybór od współrzędnych  $\Delta_1$  o największej wartości  $q_1$ .

Etapy i możliwości zastosowań opisanych algorytmów zestawia rys. 2

#### 5. REZULTATY PRAKTYCZNE

Prezentowane przypadki dotyczą rezultatów czynnych eksperymentów identyfikacji diagnostycznej obiektów rzeczywistych. przeprowadzanych specjalnie dla badania skuteczności opisywanej metody.

##### 5.1. Przykład I

Przedmiot badań stanowiła mała jednocylindrowa sprężarka tłokowa 410 pracująca w agregacie sprężającym.

Stan techniczny i stan eksploatacyjny ustalano wg planu eksperymentu czynnikowego rzędu 1 ograniczając się do powtórzeń dwuczynnikowych  $2^2$  [10].

Pary klas nastawianych własności dotyczyły:

- dla W1 prawidłowe i uszkodzone sprężyny zaworów ssącego i tłoczego;
- dla W2 obecność, lub brak tłumika szmerów ssania oraz ciśnienie w zbiorniku (rys. 3) wartości 1, lub 4 bar

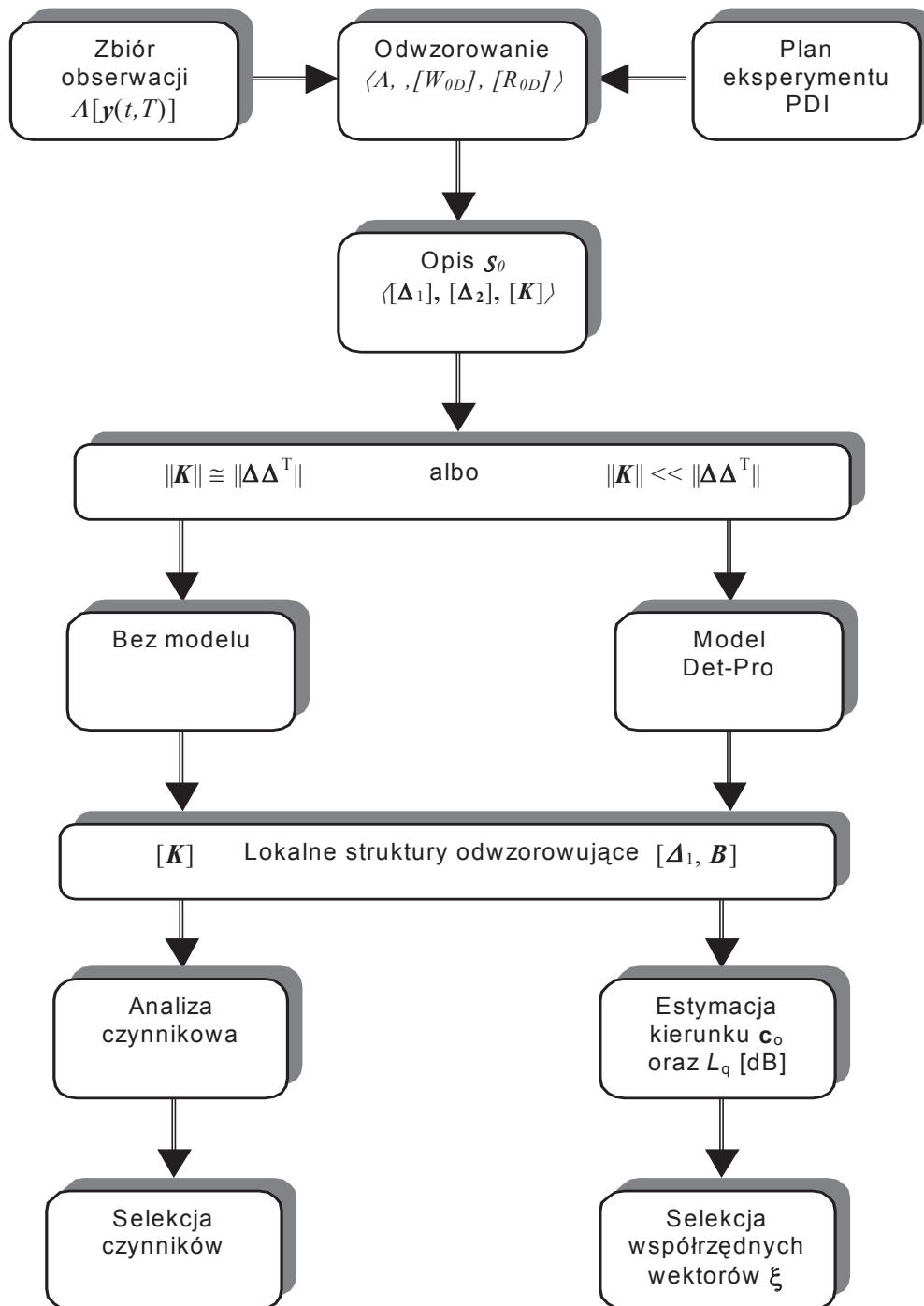
Zbiór obserwacji zawierał:

- wektory  $\xi$  widm tercjowych emitowanego hałasu,  $\dim(\xi) = m = 33$ ;
- macierze kowariancji  $K$  dla ustalonych W1 i W2

Pomiary wykonano w pomieszczeniu o prowizorycznie wytłumionych trzech ścianach i suficie (rys. 4) tak, by mikrofon pomiarowy znalazł się w polu bezpośrednim.

##### Wyniki

Skuteczność eliminacji zakłócających zmian W2 była rzędu kilkudziesięciu dB. Prosta i efektywna okazała się także procedura selekcji, co ilustruje przypadek przedstawiony na rys.4. Czerokrotnej redukcji  $\dim(\xi) - n = 8$ , towarzyszy jedynie 30% spadek wartości  $q_1$ . Pozostałe rezultaty są na ogół podobne [5].



Rys.2. Etapy procedury badania i oceny odwzorowań lokalnych PDI

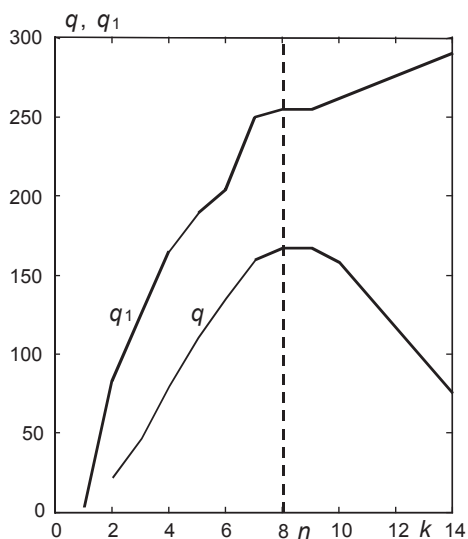
### 5.2. Przykład II

Podstawowym celem badań było tu ilościowe porównanie zróżnicowania odwzorowań lokalnych W1 w kierunku innowacji dla różnych charakterystyk sygnału mierzonego. Wykorzystano zbiór pomiarów prędkości drgań  $y$  małej przekładni uzyskany w czynnym eksperymencie czynnikowym  $2^3$ . W opisie powtórzeń ułamkowych ‘oznaczono:

– dla W1  $m_1 = 1$ ,  $s_1$ (stan zdatny)  $\Rightarrow$   $s_2$ (stan niezdatny);

– dla W2  $m_2 = 2$ , zmianę prędkości obrotowej –  $n_1 \Leftrightarrow n_2$ ; zmianę obciążenia –  $o_1 \Leftrightarrow o_2$   
Wektor  $\xi$  stanowiły modele AR rzędu  $p = 33$  dla trzech kategorii sygnałów uzyskanych na bazie  $y$ . Były to:

1.  $y_F$  – reprezentacja  $y$  odfiltrowana w paśmie  $F = [0,8\text{fz}, 1,25\text{fz}]$ ;
2.  $x$  – rezultat demodulacji kąta,  $x = \text{Arg}(y_F)$ ;
3.  $x_d$  – realizacja  $x$  decymowana w stosunku 1:10.



Rys. 3. Przykład selekcji  $\max(q)$  dla zbioru  $n = 8$  współrzędnych  $\xi$ ,



Rys. 4. Stanowisko pomiarowe

### Wyniki

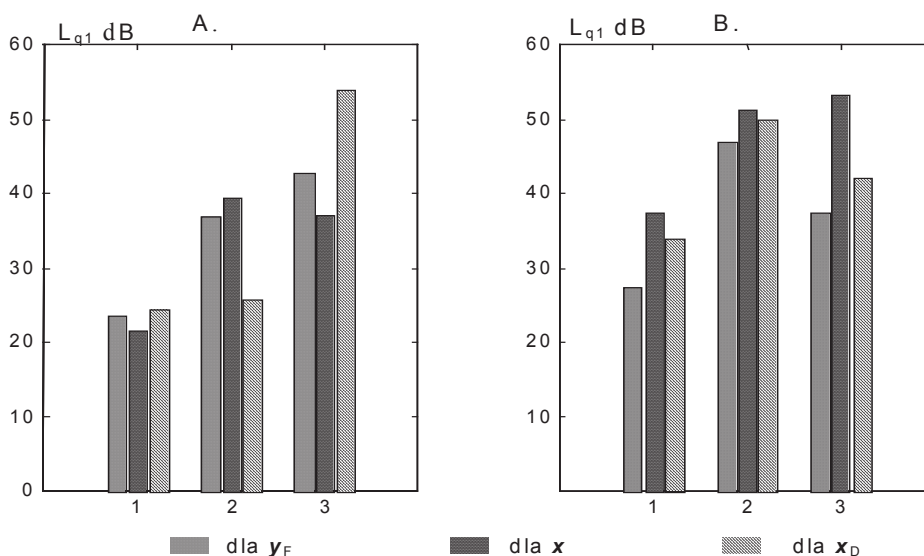
Przykłady oceny wpływu zmian obciążenia (A) oraz obrotów (B) na odwzorowanie W1 w kierunku innowacji dla sygnałów  $y_F$ ,  $x$ , oraz  $x_D$  zestawia rys 5. Dla większej przejrzystości  $q_1$  reprezentują poziomy  $L_{12}$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ :

- $L_{12} = 10\log(q_{12})$ , dla  $\Delta_1 \neq 0$  i  $\Delta_2 \neq 0$ ;
- $L_1 = 10\log(q_1)$ , dla  $\Delta_1 \neq 0$  i  $\Delta_2 = 0$ ;
- $L_2 = 10\log(q_2)$ , dla  $\Delta_1 = 0$  i  $\Delta_2 \neq 0$

Miarodajne dla oceny doświadczeń ułamkowych  $2^2$  są wartości  $L_{12}$ . Duże wartości

$L_1$  weryfikują quasi-deterministyczny model odwzorowania.

Jak wskazuje rys. 8, wskaźnik  $q_1$  okazał się precyzyjnym narzędziem porównywania przydatności różnych (a przynajmniej użytych) reprezentacji sygnału drgań. W większości przypadków ilościowa ocena stopnia innowacji niekoniecznie odpowiada wizualnemu zróżnicowaniu reprezentacji sygnału  $y$ , to ona jednak decyduje o jakości odwzorowania ZI.



Rys. 5. Wartości poziomów  $L_{q1}$  w kierunku innowacji dla prędkości drgań przekładni. Powtórzenia: **A.** ze zmianą prędkości obrotowej; **B.** ze zmianą obciążenia;  
 1.  $L_{12}$  dla  $\Delta_1 \neq 0$  i  $\Delta_2 \neq 0$ ;  
 2.  $L_1$  dla  $\Delta_1 \neq 0$  i  $\Delta_2 = 0$ ;  
 3.  $L_2$  dla  $\Delta_1 = 0$  i  $\Delta_2 \neq 0$ ;

## 6. WNIOSKI

- Charakterystyka odwzorowania powinna być związana z procedurą estymacji ch-ki odwzorowującej (struktury) zapewniającej realnie osiągnięcie  $SNR = q_{12}$ , stanowi wówczas wskaźnik efektywności tej procedury, a jeśli jest metryką – miarę
- Kierunek innowacji  $c$  oraz wskaźniki  $q$  stanowią przede wszystkim dość precyzyjne narzędzie porównywania odwzorowań lokalnych diagnozowanych własności. w eksperymentach ich identyfikacji. Stąd
- Uogólniona macierz kowariancji wydaje się dobrą reprezentacją zmienności zakłócających związanych ze zmiennymi warunkami pracy obiektu, te ostatnie bowiem decydują o kierunku innowacji dla kategorii obiektów, których dotyczy metoda.
- Opis  $(c, q_1)$  poprzez zmianę w przestrzeni odwzorowania, lub czasie eksploatacyjnym, pozwala ocenić ilościowo wpływ zmiennych warunków pracy oraz nieliniowość odwzorowania i zredukować ich zakłócające działanie.
- W badanych przypadkach wykorzystanie składowej odwzorowania w kierunku innowacji powodowało wzrost  $SNR$  o 20 ÷ 50 dB.

## 7. LITERATURA

- [1]. Candy. J. V.: *Signal Processing, the Modern Approach*. London, Mc Graw-Hill, 1988
- [2]. Cempel C., Tomaszewski F.: *Diagnostyka maszyn, zasady ogólne*,
- [3]. Haykin S.: *Adaptive Filter Theory*. London Prentice-Hall, 1996.
- [4]. Jaworski H.: *Matematyczne podstawy metrologii*. W-wa, WNT, 1979
- [5]. Kaufman A.: *Introduction a la theorie des sous-ensembles flous*. Paris, Masson, vol.3, 1975
- [6]. Krzyworzecka P.: *Optymalizacja przetwarzania złożonego sygnału diagnostycznego*. Kraków, Wyd. Elektr. i Mech. Górn. AGH, rozp. dokt., 1972.
- [7]. Krzyworzecka P.: *Uwagi o charakterystykach odwzorowania istotnych własności obiektu diagnostyki*. W-wa, Met. Cyfr. Analiz. Sygn., PAN, Oss. 1979, 293 – 323
- [8]. Krzyworzecka P.: *Synchroniczne wspomaganie odwzorowań*

diagnostycznych. Kraków. Mon. AGH, n. 103, 2001

- [9]. Malina W., Sobczak W.: *Metody selekcji informacji*. W-wa, WNT, 1973
- [10]. Mańczak K.: *Planowanie eksperymentu*. W-wa, WNT, 1976
- [11]. Sadowski W.: *Podstawy ogólnej teorii systemów*. W-wa, PWN, 1977

8. WAŻNIEJSZE OZNACZENIA  
I SKRÓTY

- $B$  – uogólniona macierz kowariancji
- $c_0$  – wektor kierunku innowacji
- $q_1$  – wskaźnik zróżnicowania odwzorowania  $W_1$  w kierunku innowacji
- $q_2$  – wskaźnik dopasowania do estymatora  $c$
- $\Xi$  – obszar odwzorowania (zmian  $\xi$ )
- $\Delta_k$  – wektor lokalnego odwzorowania  $W_k$
- $\xi$  – wektor obserwacji, charakterystyka  $y$
- $K$  – macierz kowariancji  $\xi$
- $A$  – zbiór obserwacji  $y$
- $x$  – sygnał wartościowy
- $y$  – sygnał mierzony
- $T$  – przedział  $t$  czasu obserwacji
- $t$  – czas dynamiczny
- $T$  – przedział obserwacji sygnału
- $\vartheta$  – czas eksploatacyjny
- $w$  – wektor wag filtru adaptacyjnego
- $W$  – własność ogólna mierzalna
- $WS$  – własność szczególna, kategoria  $W$
- DPR – dynamiczny proces resztkowy
- MN – model nominalny obiektu
- PDI – procedura identyfikacji diagnostycznej,
- PE – plan eksperymentu PDI
- $SNR$  – *Signal to noise ratio*
- $ZI$  – zmienność innowacyjna

Pracę zrealizowano w ramach projektu KBN nr 4 T07B 05426



Dr hab. inż. Piotr Krzyworzecka studiował na Wydziale Elektrotechniki AGH uzyskując dyplom magistra inżyniera elektryka o specjalności automatyka. Pracuje na tejże uczelni do dziś, początkowo w Katedrze Maszyn i Pomiarów Elektrycznych, potem (od 1987) w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki. Jest autorem ok. 80 publikacji, głównie o tematyce diagnostycznej, rzeczoznawcą SEP w zakresie elektroakustyki, sekretarzem Polskiej Sekcji Audio Engineering Society, a także członkiem PTDT od momentu jego powstania.