

## Rozdział 13

# Zastosowanie wieloskalowej sieci stwierdzeń w diagnostycznym systemie doradczym

Tomasz ROGALA

W niniejszym rozdziale opisano przykład sieci stwierdzeń wykonanej w dwóch wariantach jako sieć przekonań oraz ogólnej sieci stwierdzeń które są przykładem fragmentu modelu diagnostycznego wybranego podsystemu pojazdu samochodowego. Z uwagi na obszerny zakres takiego zagadnienia pokazano jedynie fragment modelu dotyczący zagadnień związanych z układem rozruchowym silnika. Rozpatrywany przykład sieci stwierdzeń dotyczy szczególnego przypadku sieci wielomodalnej jakim jest sieć wieloskalowa. Definicja sieci i jej szczegółowy opis został podany w [13.3].

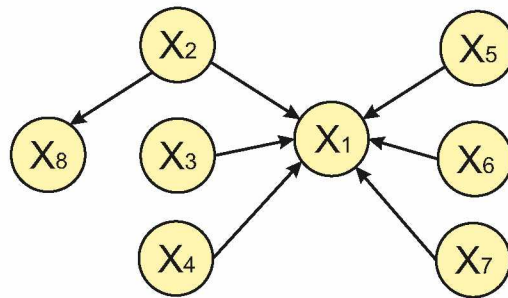
### 13.1. Przykład wieloskalowego modelu diagnostycznego

Zgodnie z przyjętą w raporcie [13.3] definicją, model wieloskalowy to model, w którym w poszczególne warstwy zawierają sieci opisujące rozpatrywaną dziedzinę wiedzy w różnym stopniu szczegółowości, przy czym co najmniej jedna z warstw powinna obejmować w stopniu wystarczająco ogólnym inne warstwy modelu. Warstwa ogólna ujmuje w całość rozpatrywaną dziedzinę, natomiast pozostałe warstwy najczęściej opisują wybrane fragmenty lub podsystemy rozpatrywanej dziedziny. Należy zwrócić uwagę, iż modele takie mają istotne znaczenie w opisywaniu złożonych środków technicznych m.in. dla potrzeb konstruowania diagnostycznych systemów doradczych [13.1], w szczególności tych, które dotychczas były opisywane modelami globalnymi, cząstkowymi, hierarchicznymi itp. [13.7], [13.5], [13.4], [13.2], [13.6], [13.8].

#### 13.1.1. Model globalny

Przedmiotem dalszych rozważań jest przykład sieci wieloskalowej przeznaczonej dla potrzeb diagnozowania układu rozruchowego i jego oprzyrządowania. Informacje na temat relacji diagnostycznych pozyskano z literatury dotyczącej budowy pojazdów samochodowych m.in. [13.9] W tym celu opracowany został ogólny model diagnostyczny zapisany w postaci sieci przekonań oraz ogólnej sieci stwierdzeń pierwszej warstwy modelu. Warstwę tą przedstawiono na rysunku 13.1. Model ten służy do diagnozowania stanu objawiającego się brakiem możliwości uruchomienia silnika mimo ustawienia włącznika zapłonu na pozycję *START*. Stwierdzenie to zapisane zostało w treści stwierdzenia oznaczonego symbolem  $X_1$ . Poniżej przedstawiono znaczenie symboli wykorzystanych na rysunku 13.1. Ze względu na większą przejrzystość

dalszych rozważań, w opisach poszczególnych stwierdzeń opuszczono treść objaśnień dla tych stwierdzeń.



Rys. 13.1: Warstwa ogólna przykładu wieloskalowej sieci stwierdzeń

W rozpatrywanej sieci, węzły reprezentują stwierdzenia proste. Poszczególne krawędzie reprezentują, w przypadku sieci przekonań, asocjacje pomiędzy tymi stwierdzeniami, a w przypadku ogólnych sieci stwierdzeń, warunki dostateczne występujące pomiędzy nimi [13.3]. Poszczególne oznaczenia przyjęte na rysunku 13.1 reprezentują następujące stwierdzenia:

#### **$X_1$ -START**

- Treść stwierdzenia = "Nie można uruchomić silnika";

#### **$X_2$ -Rozrusznik**

- Treść stwierdzenia = "Rozrusznik jest uszkodzony lub niesprawny";

#### **$X_3$ -Akumulator**

- Treść stwierdzenia = "Akumulator jest rozładowany";

#### **$X_4$ -Układ paliwowy**

- Treść stwierdzenia = "Niesprawny lub zanieczyszczony układ doprowadzania paliwa";

#### **$X_5$ -Rozrząd**

- Treść stwierdzenia = "Niewłaściwe kąty ustawienia rozrządu";

#### **$X_6$ -Włącznik zapłonu**

- Treść stwierdzenia = "Uszkodzony włącznik zapłonu";

#### **$X_7$ -Ciśnienie sprężania**

- Treść stwierdzenia = "Za niskie ciśnienie sprężania";

#### **$X_8$ -Przygasające światła**

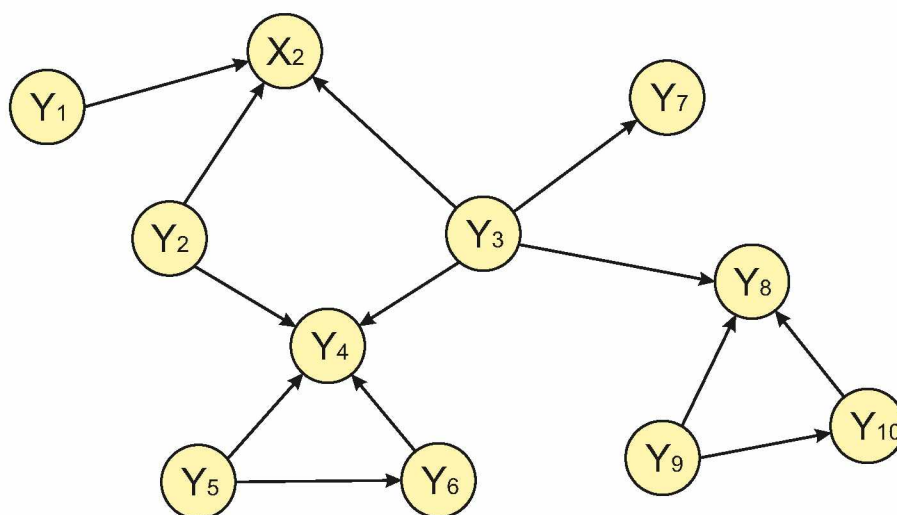
- Treść stwierdzenia = "Światła kontrolki tablicy rozdzielczej oraz światła mijania znacznie przygasają podczas próby uruchamiania silnika";

Dla każdego ze stwierdzeń oznaczonych symbolami  $X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$  możliwe jest opracowanie cząstkowego modelu diagnostycznego w postaci sieci przekonań lub ogólnej sieci stwierdzeń zapisanej w kolejnych warstwach modelu wieloskalowego. Ze względu na rozbudowany zakres rozpatrywanego zagadnienia i w celu zapewnienia większej przejrzystości dalszych rozważań, w kolejnych warstwach opisano jedynie wybrane sieci będące modelami diagnostycznymi stanu technicznego rozrusznika oraz akumulatora. Ich ogólny stan techniczny został

opisany stwierdzeniami oznaczonymi symbolami  $X_2$  i  $X_3$ . Należy zauważyć, że diagnozowanie stanu akumulatora  $X_3$  może być realizowane na podstawie ogólnodostępnych symptomów takich jak ten, występujący w ogólnej strukturze sieci, wyrażony stwierdzeniem  $X_3$  *światła kontrolki tablicy rozdzielczej oraz światła mijania znacznie przygasają podczas próby uruchamiania silnika*.

### 13.1.2. Model cząstkowy - diagnozowanie stanu rozrusznika

Na rysunku 13.2 pokazano strukturę sieci przekonań przedstawiającą model diagnozowania stanu rozrusznika. Dla celów wykonania drugiego wariantu sieci jako ogólnej sieci stwierdzeń opracowano podobną strukturę sieci jak tą pokazaną na rysunku 13.2. Dla potrzeb wariantu ogólnej sieci stwierdzeń usunięto z niej krawędzie pomiędzy węzłami  $Y_5$  i  $Y_6$  oraz  $Y_9$  i  $Y_{10}$  ponieważ pomiędzy wskazanymi stwierdzeniami nie występuje warunek implikacji odpowiadający warunkowi dostatecznemu. W obu wariantach model opisuje m.in. możliwe przyczyny oraz symptomy związane z określonym stanem technicznym rozrusznika. Poszczególne oznaczenia przyjęte na rysunku 13.2 reprezentują następujące stwierdzenia:



Rys. 13.2: Warstwa szczegółowa przykładu wieloskalowej sieci stwierdzeń - model diagnostyczny rozrusznika

#### $Y_1$ -Przerwa w przewodzie

- Treść stwierdzenia = "Przerwa w przewodzie lub w połączeniu z masą";

#### $Y_2$ -Ograniczony przepływ prądu

- Treść stwierdzenia = "Ograniczony przepływ prądu z powodu uszkodzonych lub skorodowanych połączeń";

#### $Y_3$ -Włacznik elektromagnetyczny

- Treść stwierdzenia = "Uszkodzony włącznik elektromagnetyczny";

#### $Y_4$ -Niskie obroty rozrusznika

- Treść stwierdzenia = "Rozrusznik obraca się za wolno i nie uruchamia silnika";

#### $Y_5$ -Szczotki

- Treść stwierdzenia = "Uszkodzone, zanieczyszczone lub zużyte szczotki";

#### $Y_6$ -Komutator

- Treść stwierdzenia = "Komutator jest zanieczyszczony, nadpalony, lub ma wyłobienia.";

#### $Y_7$ -Ciągła praca rozrusznika

- Treść stwierdzenia = "Rozrusznik pracuje po zwolnieniu wyłącznika zapłonu";

#### $Y_8$ -Rozprzęganie

- Treść stwierdzenia = "Mechanizm rozprzęgania zębniaka nie rozłącza się.";

#### $Y_9$ -Sprężyna zwrotna

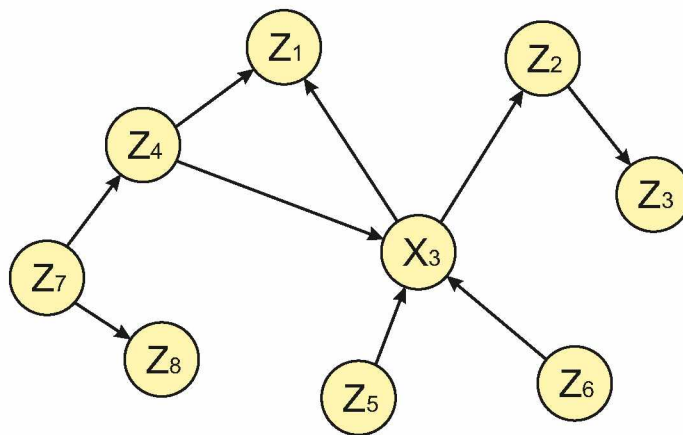
- Treść stwierdzenia = "Pęknięta sprężyna zwrotna";

#### $Y_{10}$ -Wielowypust śrubowy

- Treść stwierdzenia = "Uszkodzony wielowypust śrubowy";

### 13.1.3. Model cząstkowy - diagnozowanie stanu akumulatora

Kolejna warstwa zawiera sieć reprezentującą model diagnozowania stanu akumulatora. Przedstawiona na rysunku 13.3 warstwa wykonana jako sieć przekonań zawiera stwierdzenia, których symbole i treść przedstawiono poniżej. Podobnie jak poprzednio, dla wariantu drugiego, reprezentowanego ogólną siecią stwierdzeń, opracowano strukturę sieci podobną do tej, która wykonana została dla sieci przekonań. Usunięto z niej krawędzie pomiędzy stwierdzeniami  $Z_4$  i  $Z_1$  ponieważ pomiędzy wymienionymi stwierdzeniami nie występuje warunek dostateczny.



Rys. 13.3: Warstwa szczegółowa wieloskalowej sieci stwierdzeń - model diagnostyczny akumulatora

#### $Z_1$ -Spadek napięcia

- Treść stwierdzenia = "Za duży spadek napięcia podczas uruchamiania";

#### $Z_2$ -Gęstość elektrolitu

- Treść stwierdzenia = "Za małą gęstość elektrolitu";

#### $Z_3$ -Wysoka impedancja

- Treść stwierdzenia = "Za wysoka impedancja w stosunku do sprawnego akumulatora";

#### $Z_4$ -Napięcie ładowania

- Treść stwierdzenia = "Za niskie napięcie ładowania";

#### $Z_5$ -Poziom elektrolitu

- Treść stwierdzenia = "Za niski poziom elektrolitu";

#### $Z_6$ -Zwarcie

- Treść stwierdzenia = "Zwarcie w instalacji elektrycznej";

#### $Z_7$ -Zużyty akumulator

- Treść stwierdzenia = "Akumulator jest zużyty";

#### $Z_8$ -Niska impedancja

- Treść stwierdzenia = "Za niska impedancja w stosunku do sprawnego akumulatora";

Przedstawiony model wieloskalowy może zawierać również dodatkowe warstwy reprezentujące pozostałe zagadnienia występujące w modelu globalnym, np. model diagnozowania stanu układu paliwowego.

Należy zwrócić uwagę, że w poszczególnych warstwach modelu zawierających zbiory stwierdzeń  $S_1, S_2, S_3$  występują takie stwierdzenia, dla których

$$S_1 \cap S_2 = \{X_2\} \quad (13.1)$$

oraz

$$S_1 \cap S_3 = \{X_3\} \quad (13.2)$$

gdzie  $X_2, X_3$  to symbole stwierdzeń, które występują równocześnie w różnych warstwach modelu.

#### 13.1.4. Domyślny stan sieci przekonań

Dla opracowanej struktury sieci przekonań zdefiniowano wartości tablic prawdopodobieństw warunkowych. Wartości te dobrano na podstawie subiektywnych opinii autora modelu. Następnie dla rozpatrywanej sieci wieloskalowej wyznaczono wartości stwierdzeń dla domyślnego stanu sieci. Wyniki zostały przedstawione w tabeli 13.1. Zagregowane wartości stwierdzeń  $X_2$  i  $X_3$  wyznaczone zostały na podstawie wartości średniej ważonej. Poszczególne wagi średniej zostały ustalone na podstawie własnej subiektywnej opinii o przydatności poszczególnych warstw do diagnozowania poszczególnych elementów rozpatrywanego zadania. Przyjęto, że wagi dla warstw opisujących stan techniczny akumulatora oraz rozrusznika są jednakowe i równe 0.45, natomiast waga warstwy ogólnej wynosi 0.1. Zagregowane wartości stwierdzeń podano w ostatnim wierszu tabeli 13.1. W przypadku drugiego wariantu odpowiadającego ogólnej sieci stwierdzeń wyniki dla wszystkich występujących w sieci stwierdzeń odpowiadają przedziałom wartości  $[0; 1]$ .

Tab. 13.1: Wyniki dla domyślnych wartości stwierdzeń. Dla sieci przekonań (*SP*) podano wartości odpowiadające wystąpieniu stanu *tak*

Warstwa 1	SP	Warstwa 2	SP	Warstwa 3	SP
$X_1$	0.07	$Y_1$	0.1	$Z_1$	0.35
$X_2$	0.01	$Y_2$	0.05	$Z_2$	0.12
$X_3$	0.1	$Y_3$	0.1	$Z_3$	0.15
$X_4$	0.01	$Y_4$	0.13	$Z_4$	0.26
$X_5$	0.01	$Y_5$	0.1	$Z_5$	0.05
$X_6$	0.04	$Y_6$	0.02	$Z_6$	0.1
$X_7$	0.02	$Y_7$	0.19	$Z_7$	0.31
$X_8$	0.19	$Y_8$	0.12	$Z_8$	0.19
		$Y_9$	0.01		
		$Y_{10}$	0.04		
		$X_2$	0.15	$X_3$	0.31
Agg		$X_2$	0.12	$X_3$	0.27

### 13.1.5. Zadany stan sieci wieloskalowej

Rozpatrywany jest ustalony stan sieci wieloskalowej odpowiadający następującemu scenariuszowi zdarzeń.

*Silnik nie uruchamia się pomimo ustawienia włącznika zapłonu na pozycję START  $X_1 = tak$ . Dodatkowym objawem podczas próby uruchomienia silnika są przygasające światła mijania w pojeździe  $X_8 = tak$ . Jednocześnie założono, że nie są one objawem zużytych szczotek rozrusznika, które w ostatnim czasie zostały wymienione  $Y_5 = nie$ . Drugim niepokojącym kierowcę objawem jest wolnoobracający się rozrusznik  $Y_6 = tak$ . Ponieważ ogólne objawy wskazały na rozładowanie akumulatora przeprowadzono test związany z pomiarem spadku napięcia podczas ponownego uruchamiania silnika  $Z_1$ , pomiar dał wynik negatywny  $Z_1 = nie$ .*

Wprowadzając tak ustalone wartości poszczególnych stwierdzeń uzyskano wyniki wartości stwierdzeń pokazane w tabeli 13.2. W przypadku ogólnych sieci stwierdzeń wartości przybliżone stwierdzeń dobrano w taki sposób, aby możliwe było obserwowanie sposobu propagacji tych wartości w sieci. Wartości uzyskane dla sieci stwierdzeń pokazano w kolumnach oznaczonych symbolem *SP*, natomiast wartości dla ogólnych sieci stwierdzeń pokazano w kolumnach oznaczonych symbolem *OSS*. Wartości zadane zaznaczono wytłuszczonym drukiem. Zagregowane wartości dla sieci stwierdzeń oraz w przypadku ogólnych sieci stwierdzeń, wartości stwierdzeń, których wartości przedziałów ustalono na podstawie ich wszystkich składowych w poszczególnych warstwach, podano w ostatnim wierszu tabeli.

Analiza wyników uzyskanych dla zadanego stanu wieloskalowej sieci stwierdzeń w obu wariantach wskazują, że nie ma odpowiednich informacji, które pozwoliłyby stwierdzić, że rozrusznik jest sprawny lub że nie jest sprawny. Wyniki dla tego stwierdzenia wynoszą: w przypadku sieci przekonań wartość zagregowana dla  $X_2 = 0.4$ , a w przypadku sieci stwierdzeń wartość iloczynu poszczególnych przedziałów dla stwierdzenia  $X_2 = [0; 0.9]$ . Dla obu wariantów sieci, wyniki dotyczące stanu akumulatora wynoszą dla sieci przekonań  $X_3 = 0.2$ , a dla ogólnych sieci stwierdzeń  $X_3 = [0; 0.15]$  i wskazują na poprawny stan akumulatora. Szczegółowa analiza wyników dla sieci przekonań i jej warstwy dotyczącej rozrusznika wskazuje na konieczność sprawdzenia stanu przewodów łączących rozrusznik z układem zasilającym. W celu osiągnięcia bardziej zawężonych wartości przedziałów dla ogólnych sieci stwierdzeń konieczne jest pozyskanie dodatkowych informacji i wprowadzenie ich jako wartości zadane.

Tab. 13.2: Wyniki dla zadanych wartości wybranych stwierdzeń. Dla sieci przekonań  $SP$  podano wartości odpowiadające wystąpieniu stanu  $tak$ .  $OSS$  - wartości stwierdzeń dla ogólnych sieci stwierdzeń. Wartości zadane zaznaczono wytłuszczonym drukiem.

Warst. 1	SP	OSS	Warst. 2	SP	OSS	Warst. 3	SP	OSS
$X_1$	<b>1</b>	<b>[0.8;0.95]</b>	$Y_1$	0.1	[0; 1]	$Z_1$	<b>0</b>	<b>[0.05;0.15]</b>
$X_2$	0.07	[0; 0.9]	$Y_2$	0.78	[0; 0.9]	$Z_2$	0.1	[0; 1]
$X_3$	0.52	[0; 0.95]	$Y_3$	0.25	[0; 0.9]	$Z_3$	0.14	[0; 1]
$X_4$	0.1	[0; 0.95]	$Y_4$	<b>1</b>	<b>[0.8;0.9]</b>	$Z_4$	0.01	[0; 0.15]
$X_5$	0.13	[0; 0.95]	$Y_5$	<b>0</b>	<b>[0.1;0.2]</b>	$Z_5$	0.02	[0; 0.15]
$X_6$	0.55	[0; 0.95]	$Y_6$	0.06	[0; 0.9]	$Z_6$	0.01	[0; 0.15]
$X_7$	0.15	[0; 0.95]	$Y_7$	0.33	[0; 1]	$Z_7$	0.03	[0; 0.15]
$X_8$	<b>1</b>	<b>[0.7;0.9]</b>	$Y_8$	0.27	[0; 1]	$Z_8$	0.13	[0; 1]
			$Y_9$	0.01	[0; 1]			
			$Y_{10}$	0.04	[0; 1]			
			$X_2$	0.48	[0; 1]	$X_3$	0.13	[0; 0.15]
			$X_2$	0.4	[0; 0.9]	$X_3$	0.2	[0.15; 0.15]

## 13.2. Podsumowanie

W rozdziale pokazano prosty przykład sieci wieloskalowej dotyczącej diagnozowania stanu układu rozruchowego silnika pojazdu samochodowego. Przykład pokazano w dwóch wariantach sieci: jako sieć przekonań oraz ogólną sieć stwierdzeń. Przedstawiono działanie sieci oraz wyniki procesu wnioskowania dla domyślnych jak i ustalonych wartości stwierdzeń. Należy podkreślić, że opracowany przykład stanowi jedynie ilustrację budowy oraz stosowania wieloskalowych sieci stwierdzeń i może być znacznie rozszerzony. Zaletą opisywanego przykładu jest możliwość jego opracowywania przez wielu specjalistów, znających i opisujących wybraną dziedzinę np. wybrane komponenty instalacji technologicznej, jak i integrację tej wiedzy na poziomie ogólnym np. w warstwie ogólnej. W odróżnieniu od tradycyjnego modelowania diagnostycznego, modelowanie z zastosowaniem modeli graficznych w tym przede wszystkim modeli wielowarstwowych w systemie *MMNET*, stanowi pomocne środowisko dla potrzeb budowania diagnostycznych systemów doradczych, w których formalny zapis wiedzy jest usystematyzowany i transparentny.

## Bibliografia

- [13.1] Cholewa W. *Fault Diagnosis. Models, Artificial Intelligence, Applications*, rozdział/ Expert systems in technical diagnostics., strony 591–674. Springer, 2004.
- [13.2] Cholewa W., redaktor. *Szkieletowy system doradczy DIADYN*, wolumen 137 serii *Zeszyty*. Politechnika Śląska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Gliwice, 2008.
- [13.3] Cholewa W. Ogólny model sieci stwierdzeń. Raport wewnętrzny MMN-03-031, Politechnika Śląska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Gliwice, 2010.
- [13.4] Cholewa W., Kiciński J. *Diagnostyka techniczna. Odwrotne modele diagnostyczne*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1997.
- [13.5] Cholewa W., Kiciński J. (red). *Diagnostyka techniczna, Metody dwracania nieliniowych modeli odwrotnych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2001.
- [13.6] Cholewa W., Korbicz J., Kościelny J., Chrzanowski P., Patan K., Rogala T., Syfert M., Witczak M. *Modelowanie, diagnostyka i sterowanie nadrzędne procesami - Implementa-*

*cja w systemie DiaSter, rozdział I Metody diagnostyki.*, strony 211–316. WNT, W-wa, 2004.

- [13.7] Cholewa W., Korbicz J., Kościelny J.M., Kowalczyk Z. *Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania.* WNT, Warszawa, 2002.
- [13.8] Cholewa W., Rogala T. *Modele odwrotne i modelowanie diagnostyczne*, wolumen 136 serii *Zeszyty*. Politechnika Śląska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Gliwice, wydanie 2, 2008.
- [13.9] Zembowicz J. *Fiat Seicento, sam naprawiam.* Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, wydanie 6, W-wa, 2010.