SYSTEM DIAGNOSTYCZNY OPARTY NA LOGICE DOMNIEMAŃ

Ewa Madalińska

na podstawie prac:

[1] Łukaszewicz,W. (1988) "Considerations on Default Logic: An Alternative Approach". *Computational Intelligence*, 44[1], 1-16.
[2] Reiter, R. (1987) "A theory of Diagnosis from First Principles". *Artificial Intelligence*, 32, 57-95.

Problem diagnozy

Problemem diagnozy nazywamy następujące zadanie: dane jest urządzenie U, składające się z elementów $c_1, \ldots, c_n$, oraz zestaw obserwacji $o_1, \ldots, o_k$ dotyczących jego działania. Należy sprawdzić, czy obserwacje $o_1, \ldots, o_k$ są zgodne z zakładanym działaniem urządzenia i, jeśli nie, określić te elementy spośród $e_1, \ldots, e_n$, których wadliwe działanie może mieć na to wpływ.

Podejścia do rozwiązania problemu

Dwa podejścia:

- Diagnoza formalna
  - opis systemu – urządzenia fizycznego czy dziedziny świata rzeczywistego
  - obserwacja zachowania się tego systemu.

  Niezgodność oznacza, że pewne jego elementy działają wadliwie. Powstaje wtedy problem diagnostyczny polegający na wyznaczeniu elementów, których wadliwe działanie tłumaczyłoby rozbieżnośc między obserwowanym a przewidywanym zachowaniem systemu.

- Diagnoza empiryczna
  - informacja statystyczna o poprzednich zachowaniach systemu, np. “Jeżeli obserwujesz takie to a takie wadliwe działanie, to w 90% zepsuty jest element X”.

Diagnoza formalna

Język reprezentacji systemów – język logiki pierwszego rzędu.

Opis systemu – specyfikacja jego zachowania przy założeniu, że wszystkie elementy działają poprawnie.

Problem diagnostyczny – obserwowane działanie jest niezgodne z przewidywanym.

Diagnoza nie musi być unikalna; może być wiele alternatywnych wyjaśnień dla tego samego wadliwego systemu.

Problem obliczeniowy – wyznaczenie wszystkich możliwych diagnoz dla pewnego wadliwego systemu.

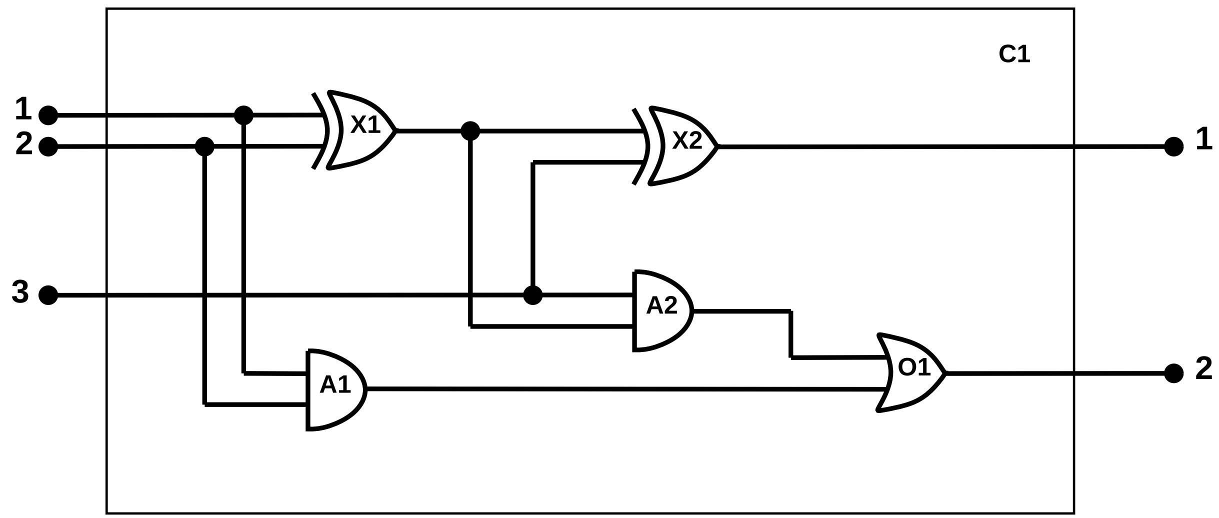
Formalizacja problemu

Definicja 1
System jest to para (OS,ELEM), gdzie:
(1) OS - opis systemu - jest zbiorem zdań logiki pierwszego rzędu.
(2) ELEM - elementy systemu - skończony zbiór stałych indywiduowych.

W opisie systemu wyróżnia się predykat unarny ab(.), interpretowany jako “wadliwy” (ang. abnormal).

Przykład 1

Rozważmy układ zbudowany z bramek logicznych:



X1 i X2 są bramkami XOR (sumy wyłacznej), A1 i A2 są bramkami AND, O1 jest bramką OR.

Układ ten może być reprezentowany przez system z 5 elementami X1,X2,O1,A1,A2 oraz następujący opis:

a) opis funkcjonowania poszczególnych elementów,

AND$(x) \wedge \neg ab(x) \Rightarrow out(x) \equiv in1(x) \wedge in2(x)$,
XOR$(x) \wedge \neg ab(x) \Rightarrow out(x) \equiv \neg in1(x) \wedge in2(x) \vee in1(x) \wedge \neg in2(x)$,
OR$(x) \wedge \neg ab(x) \Rightarrow out(x) \equiv in1(x) \vee in2(x)$,

b) opis rodzajów poszczególnych elementów,

AND(A1),
AND(A2),
XOR(X1),
XOR(X2),
OR(O1),

c) opis powiązań poszczególnych elementów,

$out(X1) \equiv in2(A2)$,
$out(X1) \equiv in1(X2)$,
$out(A1) \equiv in1(O1)$,
$out(A2) \equiv in2(O1)$,
$in1(A2) \equiv in2(X2)$,
$in1(X1) \equiv in1(A1)$,
$in2(X1) \equiv in2(A1)$,

Obserwacje systemu

Definicja 2
Obserwacją systemu nazywamy skończony zbiór zdań logiki pierwszego rzędu.
System z obserwacjami jest to trójka (OS,ELEM,OBS).∎

Przykład 2
Załóżmy, że do systemu z przykładu 1. podano na wejściu 1,0,1 i otrzymano na wyjściu 1,0. Obserwacja ta może być zapisana jako,

$$in1(X1), \neg in2(X1), in1(A2), out(X2), \neg out(O1)$$

Obserwacja ta wskazuje, że układ jest wadliwy; oba wyniki na wyjściu są niepoprawne.∎

Wadliwość systemu (OS,$\{c_1, ..., c_n\}$,OBS) – obserwacje OBS są rozbieżne z wynikającym z opisu zachowaniem systemu.

Diagnozy

$\{\neg ab(c_1), ..., \neg ab(c_n)\}$ – przypuszczenie, że wszystkie elementy systemu działają właściwie.

Fakt, że obserwacje OBS są niezgodne z działaniem systemu przy założeniu, że wszystkie jego elementy działają poprawnie, może być sformalizowany przez:

$$\mathrm{OS} \cup \{\neg ab(c_1), ..., \neg ab(c_n)\} \cup \mathrm{OBS} \tag{1}$$

jest sprzeczny.

Intuicyjnie, diagnoza – założenie, że pewne elementy są wadliwe, a pozostałe działają dobrze.

Zadanie – wyspecyfikować wadliwe elementy tj. wyjaśnić źródło sprzeczności (1).

Naturalną drogą jest usunięcie dostatecznej ilości przypuszczeń $\neg ab(c_i)$, gdzie $1 \leq i \leq n$, aż do otrzymania niesprzeczności.

Racjonalnie będzie zastosować zasadę:

Diagnoza jest założeniem, że pewien minimalny zbiór elementów jest wadliwy.

Definicja 3
Diagnozą dla (OS,ELEM,OBS) jest minimalny zbiór $\Delta \subseteq$ ELEM taki, że,

$$\mathrm{OS} \cup \mathrm{OBS} \cup \{ab(c) \mid c \in \Delta\} \cup \{\neg ab(c) \mid c \in \mathrm{ELEM} - \Delta\}$$

jest niesprzeczny.∎

Diagnoza jest wyznaczona przez minimalny zbiór elementów o następującej własności:

założenie, że każdy z tych elementów jest wadliwy (abnormal) wraz z założeniem, że wszystkie pozostałe są dobre (not abnormal) jest zgodne (niesprzeczne) z opisem systemu i obserwacją.

Przykład 3
Z układem z przykładu 2. związane są 3 diagnozy: {X1}, {X2,O1}, {X2,A2}.∎

Własności diagnoz

Twierdzenie 1
Dla systemu (OS,ELEM,OBS) istnieje diagnoza wtt OS $\cup$ OBS jest niesprzeczny.$\blacksquare$

Twierdzenie 2
$\{\,\}$ jest diagnozą (i jest to jedyna diagnoza) dla (OS,ELEM,OBS) wtt

$$\mathrm{OS} \cup \mathrm{OBS} \cup \{\neg ab(c) \mid c \in \mathrm{ELEM}\}$$

jest niesprzeczny.$\blacksquare$

Znaczy to, że obserwacje są zgodne z opisem systemu i wszystkie jego elementy działają poprawnie.

Twierdzenie 3
Jeżeli Δ jest diagnozą dla (OS,ELEM,OBS), to dla każdego $c_i \in \Delta$

$$\mathrm{OS} \cup \mathrm{OBS} \cup \{\neg ab(c) \mid c \in \mathrm{ELEM} - \Delta\} \models ab(c_i)$$

■

Twierdzenie 4
$\Delta \subseteq$ ELEM jest diagnozą dla (OS,ELEM,OBS) wtt Δ jest minimalnym zbiorem takim, że

$$\mathrm{OS} \cup \mathrm{OBS} \cup \{\neg ab(c) \mid c \in \mathrm{ELEM} - \Delta\}$$

jest niesprzeczny. ■

Wpływ dodatkowych obserwacji na diagnozy

Załóżmy, że (OS,ELEM,OBS) ma więcej niż jedną diagnozę. Wybór jednej z nich wymaga dodatkowych informacji o systemie tj. dokonania dalszych pomiarów np. przeprowadzenie testu laboratoryjnego na pacjencie, wstawienie miernika w obwód. Wynik pomiaru będzie skończonym ciągiem zdań pierwszego rzędu POM.

Jaki jest związek pomiędzy diagnozami dla (OS,ELEM,OBS) a (OS,ELEM,OBS $\cup$ POM) ?

Definicja 4
Mówimy, że diagnoza Δ dla (OS,ELEM,OBS) implikuje Π (zdanie pierwszego rzędu) wtt

$$\mathrm{OS} \cup \mathrm{OBS} \cup \{ab(c) \mid c \in \Delta\} \cup \{\neg ab(c) \mid c \in \mathrm{ELEM} - \Delta\} \models \Pi. \blacksquare$$

Twierdzenie 5
Załóżmy, że każda diagnoza dla (OS,ELEM,OBS) implikuje jedną z Π lub $\neg\Pi$. Wtedy:

1. Każda diagnoza dla (OS,ELEM,OBS), która implikuje Π jest diagnozą dla (OS,ELEM,OBS $\cup$ Π).

2. Żadna diagnoza dla (OS,ELEM,OBS), która implikuje $\neg\Pi$ nie jest diagnozą dla (OS,ELEM,OBS $\cup$ Π).

3. Diagnoza dla (OS,ELEM,OBS $\cup$ Π), która nie jest diagnozą dla (OS,ELEM,OBS), jest właściwym nadzbiorem pewnej diagnozy dla (OS, ELEM,OBS), która implikuje $\neg\Pi$.$\blacksquare$

Z twierdzenia wynika, że:

- pomiar, który nie jest sprzeczny z żadną diagnozą, nie wnosi nowej informacji.

- dodatkowa informacja Π pozwala rozróżniać konkurencyjne diagnozy w ten sposób, że:

  - zachowują się te diagnozy, które implikują Π,

  - odrzuca się te, które implikują $\neg\Pi$,

  - mogą powstać nowe diagnozy.

Obliczanie diagnoz nie jest możliwe w najbardziej ogólnym przypadku, ponieważ definicja diagnozy odwołuje się do testu niesprzeczności dla zbioru formuł pierwszego rzędu. Problem ten jest nierozstrzygalny.

Niemniej jednak, jest wiele praktycznych zastosowań opierających się na takich podzbiorach rachunku predykatów pierwszego rzędu, dla których niesprzeczność jest rozstrzygalna i diagnozy są obliczalne. Należy do nich między innymi przypadek sieci logicznych.

W problemach, które mają modele prowadzące do teorii nierozstrzygalnych należy zastosować podejście heurystyczne.

Zastosowanie logiki domniemań do obliczania diagnoz

Wnioskowanie diagnostyczne – niemonotoniczne: dodatkowe informacje mogą obalić pewne diagnozy systemu.

Istnieje ścisły związek między wnioskowaniem diagnostycznym opartym na logice pierwszego rzędu a logiką domniemań.

Z systemem (OS,ELEM) wraz z obserwacjami OBS wiążemy teorię domniemań $DT = \langle A, D \rangle$, gdzie:

$A = \mathrm{OS} \cup \mathrm{OBS}$

$D = \{: \neg ab(c)/\neg ab(c) \mid c \in \mathrm{ELEM}\}$.

Wzajemnie jednoznaczną odpowiedniość pomiędzy diagnozami dla (OS,ELEM,OBS) a rozszerzeniami powyższej teorii domniemań wyznacza następujące twierdzenie:

Twierdzenie 6
E jest rozszerzeniem dla DT wtt dla pewnej diagnozy Δ dla (OS,ELEM,OBS)

$$E = \{\Pi \mid \Delta \text{ implikuje } \Pi\}.$$

■

Posługując się pojęciem domniemań generujących rozszerzenie, twierdzenie to można by sformułować następująco:

E jest rozszerzeniem dla DT wtt dla pewnej diagnozy Δ zachodzi:

$$\Delta = \text{ELEM} - \{c \in \text{ELEM} \mid (: \neg ab(c)/\neg ab(c)) \in GD(E)\}.$$