情報処理学会第37回(昭和63年後期)全国大会

7J-1

サーカムスクリプションを用いたモデルに基づく診断の定式化

赤埴 淳一

ＮＴＴ情報通信処理研究所

1. はじめに

非単調推論の定式化としてデフォルト論理[11]、サーカムスクリプション[7]、非単調論理[8]等が提案されている。これら相互の関係、特にデフォルト論理とサーカムスクリプションの関係を明らかにすることが重要な課題として研究が行われ、あるクラスのデフォルトはサーカムスクリプションを用いて表現できることが知られている[1,4,5]。

一方、診断対象の構造・動作記述をもとに診断対象における観測から診断を行うモデルに基づく診断(Model-based diagnosis)[2,3]が非単調な性質を持つことから、Reiter[10]はその定式化を行い、デフォルト論理との関係について述べている。これは、診断対象の構成要素が正常に動作していることをデフォルトとするものである。

本稿では、Reiterの定式化におけるデフォルトがサーカムスクリプションで表現できるクラスであることから、サーカムスクリプションを用いて、モデルに基づく診断の再定式化を試みる。その結果、診断対象の構造・動作記述および診断対象での観測を表現した論理式において故障を表す述語(の組)を極小化することにより診断が得られることを示し、この再定式化により得られるいくつかの結果について述べる。

2. モデルに基づく診断

モデルに基づく診断とは、診断対象の構造や動作などを記述したモデルが与えられたときに、モデルから予測される挙動と実際に診断対象で観測された挙動との相違点から、その原因(故障箇所)を推論する診断方式である。(注：ここでいうモデルとは診断対象のモデル化という意味であり、論理でいう公理のモデルとは異なる。混乱を避けるために以下では単に診断と呼ぶ。)

本節では、Reiter[10]にしたがって診断を定義する。Reiterは任意の論理体系を対象として定式化を行っているが、ここでは一階述語論理を対象とする。

定義　システム(診断対象)を(SD, COMPONENTS)の対で定義する。ここで、

SD：システムを記述した一階述語論理式の集合

COMPONENTS：システムの構成要素を表す定数の集合

である。観測OBSを一階述語論理式の集合として定義する。システム(SD, COMPONENTS)でOBSが観測されたとき、

(SD, COMPONENTS, OBS)

の３つ組で表す。

システム記述SDに含まれる動作記述は、異常(ABnormal)である(故障している)ことを表す述語ABを用いて、各構成要素の正常動作で記述される。

このような定義の下で診断を次のように定義する。この定義は、観測と矛盾しない範囲で、構成要素のある集合が全て故障しているとし、それ以外は全て故障していないとしたときに、故障構成要素の極小集合を診断と定義するものである。

定義　(SD, COMPONENTS, OBS)に対する診断とは

$$SD \cup OBS \cup \{\neg AB(c) \mid c \in COMPONENTS - \Delta\} \cup \{AB(c) \mid c \in \Delta\}$$

を無矛盾とするような極小集合$\Delta \subseteq$ COMPONENTSである。

例１）　図１の回路は

SD＝

{ADDER(x)∧¬AB(x)⊃out(x)=in1(x)＋in2(x),
MULTIPLIER(x)∧¬AB(x)⊃out(x)=in1(x)＊in2(x),
ADDER(A1), ADDER(A2), MULTIPLIER(M1),
MULTIPLIER(M2), MULTIPLIER(M3),
out(M1)=in1(A1), out(M2)=in2(A1),
out(M3)=in2(A2), in2(M1)=in1(M3), out(M2)=in1(A2)}

COMPONENTS＝ {A1, A2, M1, M2, M3}

と表現でき、観測は

OBS＝ {in1(M1)=3, in1(M2)=2, in2(M1)=2,
in2(M2)=3, in2(M3)=3, out(A1)=10, out(A2)=12}

のように表現できる。このとき(SD, COMPONENTS, OBS)に対する診断として

{M1} 、 {A1} 、 {M2, M3} 、 {A2, M2}

の４つの極小集合が得られる。これは故障していると考えられる構成要素がM1、あるいはA1、あるいはM2とM3の両方、あるいはA2とM2の両方であることを示している。

3. サーカムスクリプション

サーカムスクリプションとは一階述語論理式の集合が与えられたときに、その集合に含まれるある論理式に対して、その論理式のモデルが極小となるための条件を示したものである。極小化する論理式等によって様々なサーカムスクリプションが提案されているが、本節では、Lifshitz[6]にしたがってサーカムスクリプション(並列サーカムスクリプションと呼ばれる)を定義する。

定義　Ｐを述語の組、Ｚを関数・述語の組、A(P,Z)を論理式とするとき、Ｚを変数とするＰのサーカムスクリプションを

$$Circum(A(P,Z); P; Z) \equiv A(P,Z) \wedge \neg \exists p z (A(p,z) \wedge p < P)$$

で定義する。ただし、p, zはP, Zに対応する述語変数であり、$p<P$は

$$\forall x(p(x) \supset P(x)) \wedge \neg \forall x(p(x) \equiv P(x))$$

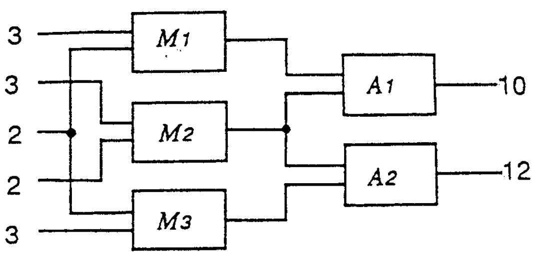

図１　論理回路の例

Circumscriptive Approach to Model-based Diagnosis

Jun-ichi AKAHANI

(NTT Communications and Information Processing Laboratories)

を表すものとする。

この定義において、$\neg\exists pz(A(p,z)\wedge p<P)$が述語の組Pのモデルが極小となるための条件である。この条件をもとの論理式$A(P,Z)$に付加することにより、$\mathrm{Circum}(A(P,Z);P;Z)$のモデルはPのモデルが極小となるような$A(P,Z)$のモデルになる。

4. サーカムスクリプションを用いた診断の定式化

Reiterによる診断の定義は、サーカムスクリプションを用いて次のように定式化できる。

定理 (SD, COMPONENTS, OBS)に対する診断Δに対して

$$\{AB(c) \mid c\in\Delta\}$$

はSD∪OBSにおける述語ABの極小モデルである。

この定理は、(SD, COMPONENTS, OBS)に対する診断が

$$\mathrm{Circum}(SD\cup OBS;AB;Z)$$

を計算することによって得ることができることを示している。ただし、ZはSD∪OBSに含まれるAB以外の全ての述語の組である。

例2)例1においてSD∪OBSのサーカムスクリプションを計算すると以下のようになる。

$$\begin{aligned}&\mathrm{Circum}(SD\cup OBS;AB;Z)\equiv\\&\quad SD\cup OBS\cup\{\forall x(AB(x)\Leftrightarrow x=M1)\\&\quad\vee\ \forall x(AB(x)\Leftrightarrow x=A1)\\&\quad\vee\ \forall x(AB(x)\Leftrightarrow (x=M2\ \vee\ x=M3))\\&\quad\vee\ \forall x(AB(x)\Leftrightarrow (x=A2\ \vee\ x=M2))\}\end{aligned}$$

これはABの極小モデルとして、{AB(M1)}、{AB(A1)}、{AB(M2), AB(M3)}、{AB(A2), AB(M2)}の4つが得られることを表しており、例1の診断Δに対応している。

この定式化により表1のような対応関係が得られる。

(1) 診断

診断はSD∪OBSにおける述語ABの極小モデルに対応する。複数の診断が得られることは、極小モデルが複数得られることに対応する。

(2) 計算手続き

Reiterは診断を計算する方法としてHS法[10]を提案している。また、de Kleerら[2]はATMSを応用する方法を提案している。これに対し、サーカムスクリプションを計算できる論理式のクラスは知られている[6]が、一般に計算する方法はまだ知られていない。

(3) 挙動の予測

Reiterはある診断Δに対する挙動の予測Πを

$$SD\cup OBS\cup\{\neg AB(c)\mid c\in COMPONENTS-\Delta\}\models\Pi$$

と定義している。これはΔに対応する極小モデルをM(Δ)とすると

$$M(\Delta)\models\Pi$$

と表現できる。

(4) 診断の選択

de Kleerは複数の診断が得られたときに構成要素の故障確率に基づいて診断結果を選択する方法を示しているこれは極小モデルの選択に対応するものである。単一故障仮説のもとでは、AB述語を各構成要素ごとに定義し、各AB述語に優先度を定義した優先度付きサーカムスクリプション[6]により実現できるが、多重故障に対しては、極小モデルに対する何らかの評価関数が必要となる。

(5) 測定

de Kleerはさらに複数の診断を絞り込むために、診断対象に対して行うべき測定の決定に最小エントロピー法を応用することを提案している。これはサーカムスクリプションで複数の極小モデルが得られたときに、どのような事実を付け加えれば極小モデルが絞り込めるかを示している。

5. おわりに

サーカムスクリプションを用いて診断を定式化し、その結果について述べた。今後の課題として、本稿では扱わなかった異常動作記述を用いた診断の定式化がある。これに関しては、Pooleらの研究[9]が参考になると考えている。

《参考文献》

[1] Etherington, D.W., Relating default logic and circumsciption, Proc. IJCAI-10, 1987.
[2] de Kleer, J. and Williams, B.C., Diagnosing multiple faults, Artif. Intell. 32 (1987).
[3] Genesereth, M.R.,The use of design description in automated diagnosis, Artif. Intell. 24 (1984).
[4] Grosof, B., Default reasoning as circumscription, Workshop in Nonmonotonic Reasoning, 1984.
[5] Imielinski, T.,Results on translating defaults to circumscription, Artif. Intell. 32 (1987).
[6] Lifschitz, V., Computing circumscription, Proc. IJCAI-9, 1985.
[7] McCarthy, J., Applications of circumscription to formalizing common-sense knowledge, Artif. Intell. 28 (1986).
[8] McDermott, D. and Doyle, J., Non-monotonic logic I, Artif. Intell. 13 (1980).
[9] Poole, D., Default reasoning and diagnosis as theory formation, CS-86-08, Univ. of Waterloo,1986
[10] Reiter, R., A theory of diagnosis from first principles, Artif. Intell. 32 (1987).
[11] Reiter, R., A logic for default reasoning, Artif. Intell. 13 (1980).

表1 Reiterによる定式化とサーカムスクリプションによる定式化との対応

	Reiterによる定式化	サーカムスクリプションによる定式化
(1) 診断の定義	SD∪OBS∪{¬AB(c)∣c∈COMPONENTS−Δ}∪{AB(c)∣c∈Δ}を無矛盾とする極小集合Δ	SD∪OBSにおける述語ABの極小モデル
(2) 計算手続き	HS法、ATMSの応用	一般な計算手続きはまだ知られていない
(3) 挙動の予測	SD∪OBS∪{¬AB(c)∣c∈COMPONENTS−Δ}において真となる論理式Π	診断Δに対応する極小モデルにおいて真となる論理式Π
(4) 診断の選択	構成要素の故障確率をもとに選択する	優先度付きサーカムスクリプションの利用
(5) 測定の決定	最小エントロピー法の利用	複数の極小モデルを切り分ける事実の決定