

Reiterの理論に基づいたファジィ論理回路の故障診断

4K-4

扇 一弘*

栗原正仁*

大内 東*

中川嘉宏**

* 北海道大学工学部情報工学科

** 北海道工業大学電気工学科

1. はじめに

近年、ファジィ理論の研究が盛んであり、その応用も多岐にわたっている。最近ではファジィを応用した製品が市販されるまでにいたっており、ファジィがハードウェアとして実現されている。

このような電子部品のメンテナンスの際、回路が正常なのか故障しているかを判断し、もし故障しているならば故障箇所を特定しなければならない。二値論理回路の故障診断システムはすでに様々なものが実用化されている。ファジィ論理回路については、回路が実現されたばかりであり、故障診断システムは実用化されていない。

本稿では、自動推論に基づいたファジィ論理回路に対する故障診断の手法を提案する。

2. 故障診断

故障診断の方法は大きく分けて二つある。一つは専門家の経験的知識に基づいたものであり、エキスパートシステムはこの方法により診断を行なっている。もう一つは経験的知識に依存しない方法である。

Raymond Reiterによって提案されたこの方法^[1]は、診断対象が内包する論理に着目して故障原因を推論するものである。Reiterの理論は、一般的な故障診断についてのものであり、特定の診断対象に依存しない。

本研究では、Reiterの理論に基づいた故障診断を行なう。その理由は、論理的に故障原因を求めたいからである。また、ファジィ論理回路の故障診断を行なうために必要な経験的知識がまだ得られていないからである。

3. 故障診断の定式化

Reiterによる故障診断の定式化の概要を述べる。

Fault Diagnosis for Fuzzy Logic Circuits
based on Reiter's Theory

Kazuhiro OHGI, Masahito KURIHARA, Azuma OHUCHI
(Faculty of Engineering, Hokkaido University)
and Yoshihiro NAKAGAWA
(Hokkaido Institute of Technology)

定義1 システムとは、対 $(SD, COMPONENTS)$ である。ただし

(1) SD (システム記述) は第一階論理式の集合である。

(2) $COMPONENTS$ (システム構成要素) は有限な定項の集合である。

ここで、 SD には「異常である」を意味する特別な述語 AB が含まれている。

定義2 システムの観測 OBS は第一階論理式の有限な集合である。

システム $(SD, COMPONENTS)$ と観測 OBS をまとめて $(SD, COMPONENTS, OBS)$ と書く。

この表現に基づくと、システムが故障しているということは、その構成要素 $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ について

$$SD \cup \{\neg AB(C_1), \dots, \neg AB(C_n)\} \cup OBS$$

が矛盾を持つことと同値である。

定義3 $(SD, COMPONENTS, OBS)$ についての診断とは

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

が無矛盾であるような極小集合 $\Delta \subseteq COMPONENTS$ である。

診断を以下の様に特徴付けることが出来る。

命題4 $\Delta \subseteq COMPONENTS$ が $(SD, COMPONENTS, OBS)$ の診断であることは、 Δ が $SD \cup OBS \cup \{\neg AB(c) \mid c \in COMPONENTS - \Delta\}$ が無矛盾であるような極小集合であることと同値である。

4. 診断の計算

$COMPONENTS$ の全ての部分集合に対して、命題4に従ってチェックを行なえば、診断 Δ を求めることが出来る。しかし、この方法は効率が悪い。Reiterは、de Kleerによるコンフリクト集合の概念に基づいた計算方法を示した。

定義5 $(SD, COMPONENTS, OBS)$ に対するコンフリクト集合は

$$SD \cup OBS \cup \{\neg AB(C_1), \dots, \neg AB(C_n)\}$$

が矛盾を生じるような集合 $\{C_1, \dots, C_n\} \subseteq COMPONENTS$ である。

定義6 C を集合族であるとする。 C のヒット集合とは、それぞれの $S \in C$ について、 $H \cap S \neq \{\}$ であるような集合 $H \subseteq \bigcup_{S \in C} S$ である。

コンフリクト集合、ヒット集合の概念を用いると、次のように診断を特徴付けることができる。

定理7 $\Delta \in \text{COMPONENTS}$ が $(SD, \text{COMPONENTS}, OBS)$ の診断であるということは、 Δ が $(SD, \text{COMPONENTS}, OBS)$ のコンフリクト集合の族についての極小なヒット集合であることと同値である。

定理7に基づいて、HS-木という探索木を生成することによって診断を求める。なお、Reiterのアルゴリズムには一部バグがあり、訂正がされている。^[2]

5. ファジィ論理回路の故障診断

ファジィ論理では、真理値は0, 1の二値ではなく、 $[0, 1]$ の連続値を取る。論理演算は以下のように定義される。

- (1) 論理和 $x \vee y = \max(x, y)$
- (2) 論理積 $x \wedge y = \min(x, y)$
- (3) 否定 $\bar{x} = 1 - x$

図1のファジィ論理回路を考えてみる。

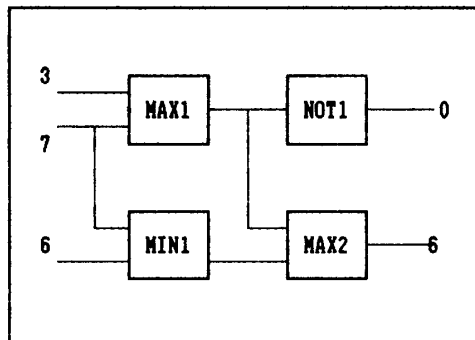


図1 ファジィ論理回路の例

真理値は $[0, 1]$ の連続値を取るが、それを例えば0.7は7と表わすことにする。したがって、例えば0.7は7と表わされることになる。

システム記述SDには、例えば次のようなものが含まれる。

各素子の動作: $\text{MAXG}(x) \wedge \neg \text{AB}(x) \supset \text{out}(x) = \max(\text{in}_1(x), \text{in}_2(x))$

素子間の結線: $\text{out}(\text{MAX}_1) = \text{in}_1(\text{NOT}_1)$

ファジィ論理の公理: $x \vee y = \max(x, y)$

$$x \geq y \supset \max(x, y) = x$$

などが含まれる。

システム構成要素COMPONENTSは $\{\text{MAX1}, \text{NOT1}, \text{MIN1}, \text{MAX2}\}$ である。

ここで、 $\text{in}_1(\text{MAX1})=3$, $\text{in}_2(\text{MAX1})=7$, $\text{in}_2(\text{MIN1})=6$ の時、 $\text{out}(\text{NOT1})=0$, $\text{out}(\text{MAX2})=6$, すなわち $OBS = \{\text{in}_1(\text{MAX1})=3, \text{in}_2(\text{MAX1})=7, \text{in}_3(\text{MIN1})=6, \text{out}(\text{NOT1})=0, \text{out}(\text{MAX2})=6\}$

であったとする。これは、この回路が故障していることを意味している。(正しい値は、 $\text{out}(\text{NOT1})=3$, $\text{out}(\text{MAX2})=7$ である。)

診断は、定理7に基づいて計算される。診断の定義で述べられている矛盾/無矛盾の判定は定理証明器によって行なわれる。これは一般には決定不能であるが、本論文の問題は特殊で、決定可能である。汎用の定理証明器では効率が悪いので、この種の問題専用の定理証明器について研究中である。

この $(SD, \text{COMPONENTS}, OBS)$ の診断を計算すると、 $\{\text{MAX1}, \text{NOT1}\}$, $\{\text{MAX1}, \text{MAX2}\}$, $\{\text{NOT1}, \text{MAX2}\}$ の3つの二重故障の診断が得られる。その際のHS-木を以下に示す。

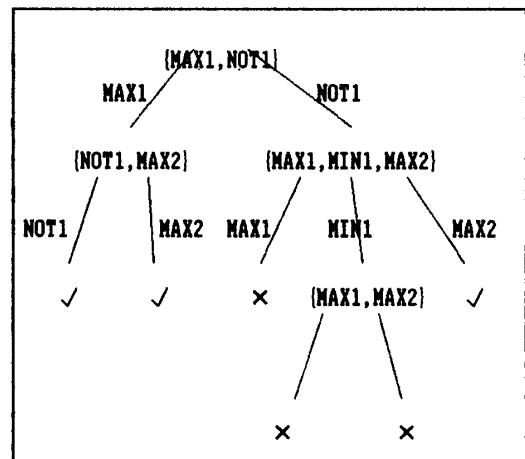


図2 HS-木

【参考文献】

- [1] Raymond Reiter 「A Theory of Diagnosis from First Principles」 Artificial Intelligence 32 (1987) 57-95
- [2] Russell Greiner, Barbara A. Smith, W. Wilkerson 「A Correction to the Algorithm in Reiter's theory of Diagnosis」 Artificial Intelligence 41 (1989/90) 79-88