

Synchronous Boolean Network のモデルベース診断

3J-2

平塚聡 房岡璋
立命館大学理工学部情報学科

1. はじめに

モデルベース診断は、システムの構成と各要素が正しく動く場合の動作を与え、この記述と動作の観測データから、どの構成要素が誤動作を行っているかを推論する方法である [1]. 特に組み合わせ論理回路に対しては、命題論理で表現することが可能であり、Prime Implicate を求めるアルゴリズムに帰着できることがわかっている [2]. しかし、D flip flop を含んだ Synchronous Boolean Network (以下、SBN と略記) の場合、有限個数の入出力値のみが観測されている場合でも内部状態が観測不可能であるかぎり、このアルゴリズムでは不十分である。ここでは時制論理を用いた SBN に対する記述とその Resolution Principle によるモデルベース診断の手法を与える。

2. SBN の表現

2-1. システムモデル

以下では、SBN に関する図-1 の記述 $P=(X,Y,Z,U,V,Ab)$ を用いる。ここで X,Y は入力変数、出力変数、 U,Z は状態変数、また V は接続変数の集合である。 Ab はシステム変数の集合である。また \bar{Ab} は Ab の要素のリテラルの集合である。リテラルは atomic formula またはその否定で、 \circ オペレータを含まないとする。

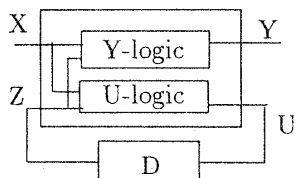


図-1 SBN 模式図

故障は static で permanent であると仮定する。すなわち観測中に故障が起こる事も無く、また故障の症状は不変である。すなわち

$$(\forall \alpha \in Ab)[\alpha \supset \square \alpha]$$

2-2. システム記述

システム記述 (SD) は Y-Logic, U-logic と D の記述からなる。Y-Logic, U-logic は組み合わせ論理回路であり、それを構成している gate の記述の集合として表現される。たとえば、AND gate は以下の節の集合として記述される。

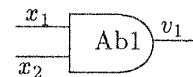


図-2 AND gate

$\{\square\{ab(00) \vee \bar{x}_1\}, \square\{ab(00) \vee \bar{x}_2\}, \square\{ab(00) \vee \bar{v}_1\}, \square\{x_1 \vee x_2 \vee v_1 \vee \bar{ab}(00)\}, \square\{ab(01) \vee x_1\}, \square\{ab(01) \vee \bar{x}_2\}, \square\{ab(01) \vee \bar{v}_1\}, \square\{\bar{x}_1 \vee x_2 \vee v_1 \vee \bar{ab}(01)\}, \square\{ab(10) \vee \bar{x}_1\}, \square\{ab(10) \vee x_2\}, \square\{ab(10) \vee \bar{v}_1\}, \square\{x_1 \vee \bar{x}_2 \vee v_1 \vee \bar{ab}(10)\}, \square\{ab(11) \vee x_1\}, \square\{ab(11) \vee x_2\}, \square\{ab(11) \vee v_1\}, \square\{\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{v}_1 \vee \bar{ab}(11)\}\}$
ここで、例えば $ab(00)$ 入力が $x_1 = 0, x_2 = 0$ のとき誤動作したことを示している。

D は D flipflop であり、以下の記述を持つ。

$$\{\square\{\bar{o}z \vee u\}, \square\{oz \vee \bar{u}\}\}$$

2-3. 観測の記述

観測は、各変数の知られている値であり、ユニット節として与えられる。

$$Ob = \bigcap_{i=1}^{MAX} \{Ob_i\}$$

$$Ob_i = \{\{\circ^i x_i\} \cdots \{\circ^i y\} \cdots\}$$

ここで、MAX は観測された時間の最大値である。

3. 診断

論理式 φ に対して、リテラルの集合 $\alpha = \{\alpha_1 \cdots \alpha_n\}$ が存在して、

*A Modelbased Diagnosis of Synchronous Boolean Network
Satoshi Hiratsuka, Akira Fusaoka
hira@muse.ritsumei.ac.jp
Department of Computer Science, Ritsumeikan University
1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu Shiga 525-8577 Japan

$\varphi \supset \square(\alpha_1 \vee \dots \vee \alpha_n)$

を満たす α を φ の不変カバリングと呼ぶ。さらに不変カバリングのうち最小のものを最小不変カバリングと呼ぶ。

$\alpha_1 \dots \alpha_n \in Ab$ である節集合 $c = \{\alpha_1 \vee \dots \vee \alpha_n\}$ が節集合 $\{SD\} \sqcup \{Ob\}$ に対する最小不変カバリング、すなわち $\{SD\} \sqcup \{Ob\} \supset \{\alpha_1, \vee \dots \vee, \alpha_n\}$ であるとき Conflict Set と呼ぶ。Conflict Set $c = \alpha_1 \vee \dots \vee \alpha_n$ は、 $\alpha_1 \dots \alpha_n$ のどれかが誤動作をしているという条件であり、すべての Conflict Set が求まったとき、それから任意の一つずつリテラルを選んで構成した集合が診断になる。従って Conflict Set を求めることが診断アルゴリズムの基本である。

4. Conflict Set を求めるアルゴリズム

Conflict Set は、基本的には組合せ論理回路に対する Prime Implicate を求めるアルゴリズムを繰り返し適用することによって得られる。但し、故障が Static で Permanent であるという前提があり、従ってある時点でのゲートの動作が確定したとき、最初の時点に戻って、再び推論を進める必要がある。本研究では、これらの操作を時制論理に対する Resolution Principle を用いて行った [3]。

4-1. 変数定義

以下の変数を用いる。

i: 時間指定パラメータ

k: 推論の段階を示すパラメータ

$S_{i,k}$: i,k 時点でのサポート集合。

A_k : k 時点での conflict set の集合。

4-2. アルゴリズムの説明

本アルゴリズムでは、Set of Support Strategy を用いる。サポート集合は、 $\{Ob\}$ から出発し、推論で生成される節集合を含む。但し、すべてのリテラルが Ab の要素の場合は A_k に入れる。

一般に時制論理の Resolution は以下の2つの推論ステップを含む。

Step Resolution:

時間に無関係な推論を行う Resolution である。

$\{\varphi \vee \ell\} \in S, \{\varphi \vee \bar{\ell}\} \in \{SD\}$ ならば $\varphi \in S$

ただし、 φ のすべてのリテラルが \bar{Ab} に含まれている場合、 $\{\varphi\} \in A$ とする。

Temporal Resolution:

近接する時間にまたがって行う推論である。すなわ

ち $\{oz \vee \ell\} \in \{SD\}, \{\varphi \vee \bar{\ell}\} \in S$ かつ φ の全てのリテラルが Ab に含まれるならば、 $\{z \vee \varphi\}$

4-3. フローチャート

以下に Conflict Set を求めるアルゴリズムのフローチャートを示す。

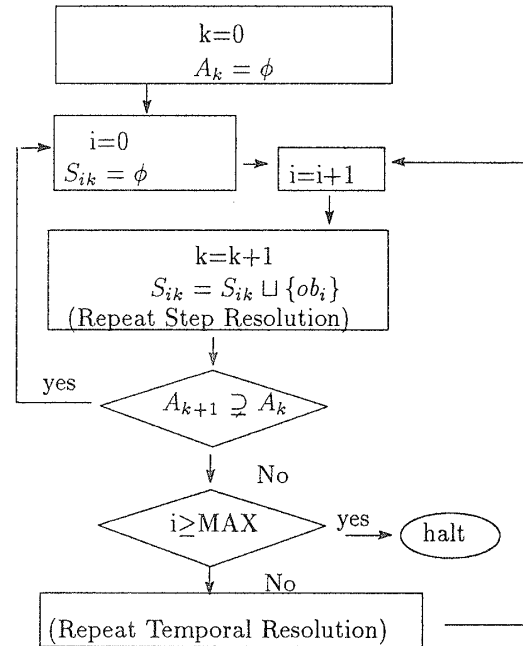


図-3 フローチャート

5. むすび

SBN に対するモデルベース診断の手法を提案した。この方法ではシステム変数が極めて多くなり、簡潔な取り扱いを行うために変数順序の導入など諸種の表現手法を検討することが今後の課題である。

参考文献

- [1] Raymond Reiter, "A Theory of Diagnosis from First Principle" *Artificial Intelligence* 32 (1987) 57-95.
- [2] Oskar Dressler and Peter Struss, "The Consistency-based Approach to Automated Diagnosis of Device" In *Principles of Knowledge Representation* (Gerhard Brewka ed.) (1996) 267-311.
- [3] Clare Dixon and Michael Fisher, "The Set of Support Strategy in Temporal Resolution" (TIME 98) Proceedings of Fifth International Workshop on Temporal Representation, (1998) 113-120.