

# 組込み自己診断におけるテストパターン系列の診断能力に関して

## Diagnostic ability of test pattern sequence under Built-In Self Diagnosis

宮本 夏規†      村上 陽紀†      王 シンレイ†      樋上 喜信†  
 高橋 寛†      大竹 哲史‡      Senling Wang      Yoshinobu Higami  
 Natsuki Miyamoto   Haruki Murakami      Senling Wang      Yoshinobu Higami  
 Hiroshi Takahashi   Satoshi Ohtake

### 1 まえがき

コンピュータの機能によって自動車などの制御を安全に行うことが望まれている [1, 2]. 特に, 自動車の先進運転支援システムの構成要素である車載マイコンの高信頼性は, 自動車の機能安全レベルを向上させるために必要不可欠である. 最近, 機能安全へ対応するために車載マイコンなどの集積回路における「組込み自己診断 (BISD)」の開発が望まれている [1, 2].

組込み自己診断においては, テストパターン毎に被検査回路の個々の出力側フリップフロップの誤りの非検出または検出の情報 (パス/フェイル情報) を利用することができない. 組込み自己診断においては, テストパターンに対する被検査回路の出力側フリップフロップの応答を署名解析器によって圧縮し, その応答署名を利用して故障箇所を指摘しなければならない. そこで, 本研究では, 応答署名に基づく組込み自己診断におけるテストパターン系列の診断能力に関して考察する. まず, 組込み自己診断の機構を提案し, その組込み自己診断のシミュレーションモデルを提案する. つぎに, テストパターン系列の診断能力を評価する. さらに, 組込み自己診断における診断能力を向上させるために, テスト生成回路におけるランダムパターン発生回路の初期値を再設定する (リシード) に適したシードの選択法を検討する.

### 2 提案する組込み自己診断の機構

一般的な組込み自己テスト機構を拡張して, 次の構成要素からなる組込み自己診断の機構を提案する.

1) ランダムパターン系列を生成するテスト生成回路および診断能力を向上させるためのリシード機構, 2) テストパターン毎に被診断回路 (CUD) の故障検出情報であるパス/フェイル情報を生成する回路, 3) テストパターン毎のパス/フェイル情報を圧縮してテストパターン系列に対する診断用署名を解析する回路, 4) 故障毎の被疑故障署名を格納するメモリ, 5) 診断用署名と被疑故障署名を比較し, 故障箇所を推定する回路

### 3 BISD のシミュレーションモデル

提案する組込み自己診断機構の振る舞いをシミュレーションするために以下のシミュレーションモデルを考える.

故障診断においては,  $I$  個のテストパターンからな

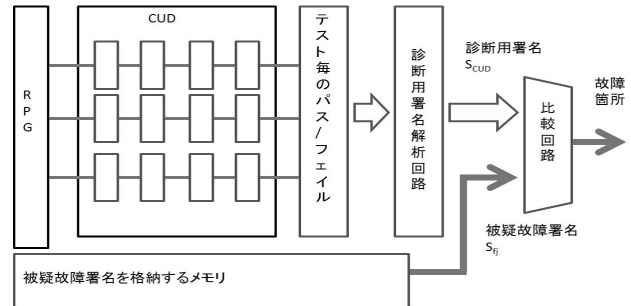


図1 提案する組込み自己診断機構

るテストパターン系列  $t_1, \dots, t_i, \dots, t_I$  が与えられる. 仮定故障  $f_j$  に対して期待署名  $S_{fj}$  を求めるために, 故障シミュレーションを利用する. 故障シミュレーションによってテストパターン  $t_i$  における故障  $f_j$  をもつ回路のパス/フェイル情報  $pf_{ji} = PF(f_j, t_i)$  を求める.  $t_i$  が故障  $f_j$  を検出できるならば,  $pf_{ji} = 1$  とする. 次に,  $I$  個のテストパターンからなるテストパターン系列に対して求めたパス/フェイル情報から, 被疑故障署名  $S_{fj} = SA(pf_{j1}, \dots, pf_{ji}, \dots, pf_{jI})$  を求める. 同様の処理を繰り返して,  $J$  個の仮定故障に対して  $J$  個の被疑故障署名  $S_{f1}, \dots, S_{fj}, \dots, S_{fJ}$  を求める. 求められた  $J$  個の被疑故障署名  $S_{f1}, \dots, S_{fj}, \dots, S_{fJ}$  はメモリに格納されているとする.

テストパターン毎の CUD のパス/フェイル情報  $pf_i = PF(CUD, t_i)$  を求める.  $t_i$  が CUD の故障を検出するならば,  $pf_i = 1$  とする.  $I$  個のテストパターン系列のパス/フェイル情報から診断用署名  $S_{CUD} = SA(pf_1, \dots, pf_i, \dots, pf_I)$  を生成する.

組込み自己診断の結果を求めるために,  $S_{CUD}$  と  $S_{f1}, \dots, S_{fj}, \dots, S_{fJ}$  を順次比較する. もし,  $S_{CUD} = S_{fj}$  ならば, CUD に故障  $f_j$  が存在すると推定する.

### 4 BISD におけるテストパターン系列の診断能力

今, テストパターン系列において  $J$  個の故障に対して  $J$  個の被疑故障署名が与えられているとする. もし, 被疑故障署名  $S_{fj}$  が他の  $J-1$  個の被疑故障署名と異なるならば, テストパターン系列によって故障  $f_j$  は診断可能であるとする. 言い換えれば, 与えられたテストパターン系列において, 故障  $f_j$  は他の故障と区別可能である. もし, 被疑故障署名  $S_{fj}$  と同じ署名が  $J-1$  個の被疑故障署名にあるならば, 故障  $f_j$  とそれらの故障は区別で

† 愛媛大学, Ehime Univ.

‡ 大分大学, Ohita Univ.

きない故障とする。区別できない故障は一つにまとめたクラスと考える。

BISD におけるテストパターン系列の診断能力は、「診断可能な故障数」, 「クラス数」, および「クラスの要素である故障数の最大値とその分布」によって評価する。

## 5 BISD における診断能力の向上化法

BISD における診断能力を向上させるためには、テストパターン系列に対する故障のパス/フェイル情報からなる被疑故障署名が他の故障の被疑故障署名と区別可能にすることが必要である。

テスト生成回路におけるランダムパターン発生回路の初期値を再設定するリシード法を適用する。リシード法においては、どのようなパターンを再設定するシードとするかが重要である。また、リシードのためのテストパターンを記憶するためのメモリ容量も問題となる。したがって、できる限り少ないリシードのためのテストパターンによって、できるだけ診断能力を改善することが必要である。本稿では、診断能力を向上できるリシードのためのテストパターンの条件とその条件を満足する候補からシードを選択する手法を提案する。

リシードの候補となるテストパターン  $R_i$

初期に与えたテストパターン系列によってクラスに属する故障に対して、少なくとも一つの故障を区別できるテストパターンをリシードの候補となるテストパターン  $R_i$  とする。

リシードの候補となるテストパターン  $R_i$  の生成法

診断用故障シミュレーションを利用して、新たに  $K$  個のランダムパターンにおいて、クラスに属する故障間で故障を区別できるランダムパターンをリシード候補のテストパターン  $R_i$  として求める。

リシードの候補となるテストパターンの順位付けのための評価値  $E(R_i)$

リシードの候補となるテストパターン  $R_i$  が、クラスに属する  $n$  個の故障を区別できるならば、評価値  $E(R_i)=n$  とする。

リシードの候補となるテストパターンの順位付け

リシードの候補となるテストパターンをそのテストパターンがもつ評価値  $E(R_i)$  の値に基づいて、評価値の降順にリシードの候補となるテストパターンに順位をつける。

リシードの候補となるテストパターンの選択法

リシードの候補となるテストパターンの順位に基づいて、順位の昇順にテストパターンを選択する。

**BISD における診断能力の向上化法**

BISD における診断能力の向上化法として、選択したテストパターンをシードとする  $k$  個のランダムパターンを生成する。

## 6 予備実験結果

組込み自己診断機構におけるテストパターン系列の診断能力を評価するために、本稿で述べた BISD のシミュレーションモデルをコンピュータ上に実装した。診断の対象故障は単一縮退故障である。まず、LFSR ベースのテスト生成器から生成された 5,120 個のランダムパター

ンに対して診断能力を評価した。評価実験結果を表 1 に示す。表では、対象故障数の列には、1,024 個のランダムパターンで検出できる縮退故障数を示す。診断可能な故障数の列には、5,120 個のランダムパターンに対する故障の診断用の応答署名によって区別可能な故障数を示す。クラス数の列には、診断ができなかった故障のクラスの数を示す。クラス内の最大故障数の列には、クラスを構成する故障の数の最大値を示す。

つぎに、BISD における診断能力の向上化法として、リシード法を適用した場合の評価実験結果を表 2 に示す。本実験では、1 回のリシードに対して 1,024 個のランダムパターンを LFSR によって生成した。

表 1 ランダムテスト系列の故障診断能力

回路名	対象故障数	診断可能な故障数	クラス数	クラス内の最大故障数
cs9234	5,000	2,456	927	16
cs13207	7,685	3,085	1,636	16
cs15850	9,934	5,503	1,799	18
cs38417	27,089	18,481	3,449	25

表 2 リシードテスト系列の故障診断能力

回路名	対象故障数	診断可能な故障数	クラス数	クラス内の最大故障数
cs9234	5,000	2,572	892	14
cs13207	7,685	3,104	1,589	18
cs15850	9,934	5,513	1,795	18
cs38417	27,089	18,792	3,311	30

## 7 まとめ

本稿では、まず、組込み自己診断機構とそのシミュレーションモデルを提案した。つぎに、組込み自己診断機構におけるテストパターン系列の診断能力を定義した。さらに、組込み自己診断機構におけるテストパターン系列の診断能力の向上化法として、クラスの故障に対する診断用テストパターンをシードとするリシード法を提案した。予備実験結果から与えられたテスト系列の診断能力を評価した。

謝辞: 本研究は一部、科研費 (25330063) の助成をうけたものである。

## 参考文献

- [1] A. Cook et.al., "Advanced diagnosis: SBST and BIST integration in automotive E/E architectures", Proc. DAC, 2014.
- [2] A. Cook, M. Elm, H. Wunderlich, and U. Abelein, "Structural in-field diagnosis for random logic circuits", pp.111-116, Proc. ETS, 2011.