

故障活性化率向上のためのドントケア割当て法

日大生産工(学部) ○若杉 諒介 日大生産工 細川 利典

1. はじめに

従来、テスト生成には単一縮退故障モデルが広く用いられている。単一縮退故障モデルは取り扱いが容易でかつ、多くの欠陥が単一縮退故障テストで検出できることなどが利点としてあげられる[1][2]。

しかしながら、近年の大規模集積回路(LSI: Large Scale Integrated Circuits)の製造技術の進歩に伴い、回路の大規模化、高速化、複雑化が急速に進み、それに際して故障モデルも複雑化してきている。そのため、従来使用されてきた単一縮退故障モデルのためのテスト集合では検出しにくい故障モデルが増加してきている。そのため、縮退故障モデル以外のモデルも検出可能な高品質なテスト集合の生成が必要となってきた。

またそれに伴い生成されたテスト集合の品質を正しく評価する尺度が必要となってくる。テスト集合の品質を評価する尺度としては、故障観測率[3]や故障活性化率[4]などが提案されている。

本研究では、故障活性化率を評価尺度として採用する。故障活性化率を向上させることで、各故障からの故障伝搬信号線数を増加させる。それにより、テスト生成しにくいモデルの故障の検出できる可能性が向上し、テスト品質が向上すると考えられる。

本研究では、遷移故障に対して自動テストパターン生成器(ATPG:Auto Test Pattern Generator)を用いて ISCAS' 89 ベンチマーク回路に対してテスト生成を行い、その故障活性化率を算出する。そして、生成されたテスト集合に対してドントケ

ア抽出を行い、抽出されたドントケアに対して故障活性化率を向上するように値割当てを行いテスト品質の向上を目的とする。

本稿ではその前段階として、生成されたテスト集合に対してドントケア抽出を行い、またそのテスト集合の故障活性化率を評価する。さらに、ドントケア抽出を行ったテスト集合に対して、故障活性化率が向上するような値割当てする方法の手法を提案する。

2章では、遷移故障モデルとそのテスト法について述べ、3章で故障活性化率について述べる。そして4章で故障活性化率指向ドントケア割当て法について述べ、5章で遷移故障に対して生成したテスト集合の故障活性化率を測定した実験の結果を述べている。

2. 遷移故障のテスト法

2.1 遷移故障モデル

遷移故障[6]とは、論理ゲートの1つの信号線の遷移が何らかの影響により遅れてしまう故障である。これは、遷移故障が任意の経路で活性化された場合必ずその故障影響がフリップフロップ (FF) に伝搬することを意味している。

2.2 遷移故障モデル

遷移故障モデルには、立ち上り遷移故障と、立ち下り遷移故障がある。

立ち上り遷移故障とは、立ち上がり信号の第2時刻の論理値が1でなく0となる故障である(図1(a))。立ち下り遷移故障は、立ち下がり信号の第

A X-filling Method to Increase Fault Sensitization Coverage

Ryosuke WAKASUGI, Toshinori HOSOKAWA

2 時刻の論理値が 0 でなく 1 となる故障である (図 1(b)).

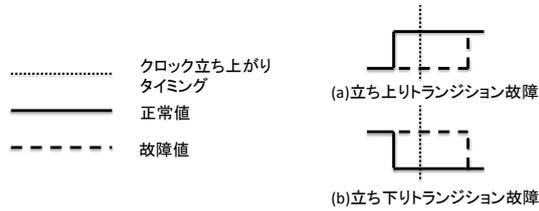


図 1 遷移故障

2.3 2 パターンテスト

遷移故障を検出するためには、連続する 2 パターンにより信号の遷移を発生させる必要がある。この連続する 2 パターンによるテストを 2 パターンテストと呼び、第一のパターンを初期化パターン、第二のパターンをリリースパターンと呼ぶ。

リリースパターンを生成する方法は 2 つ知られており、1 つめはスキュードロード方式[7]、もう 1 つはブロードサイド方式[8][9]である。本研究では、ブロードサイド方式で実験を行った。

ブロードサイド方式による 2 パターンテストのリリースパターン生成法と遷移故障検出方法を、以下の Step1~Step4 で示す。

- (Step. 1) 初期化パターンが、スキャンインからスキャンチェーンを通じて図 2 の 1 時刻目 (T1) の順序回路の FF の値を初期化する。
- (Step. 2) 初期化パターンから通常動作行うことでリリースパターンを生成し、ある信号線で遷移が発生し、その遷移が図 2 の 2 時刻目 (T2) の順序回路に伝搬する。
- (Step. 3) 図 2 の 2 時刻目 (T2) の順序回路の組合せ回路部の応答パターンを、各 FF が取り込む。
- (Step. 4) 各 FF が取り込んだ応答パターンを、スキャンチェーンを通じてスキャンアウトに送り故障の影響を観測する。

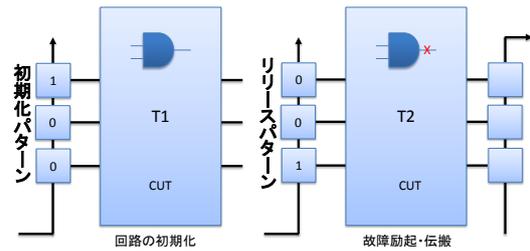


図 2 2 パターンテスト例

ブロードサイド方式による 2 パターンテストを行うことにより、回路応答をリリースパターンとして用いるので、通常動作で顕現する遷移故障が検出可能になる。

3. 故障活性化率

故障活性化率[4]は、各故障から到達可能な信号線数のうち、実際に活性化された信号線数の割合を表したものでありテスト品質尺度として用いられている。図 5 に故障活性化率の計算式と図 6 に計算例を示す。

SEN_f : 故障 f の故障活性化率

$$SEN_f = \frac{\text{活性化された信号線数}}{\text{故障}f\text{から到達可能な信号線数}}$$

SEN : 回路全体の故障活性化率

$$SEN = \frac{\sum_f f\text{について活性化された信号線数}}{\sum_f f\text{の到達可能な信号線数}} \times 100$$

図 5 故障活性化率

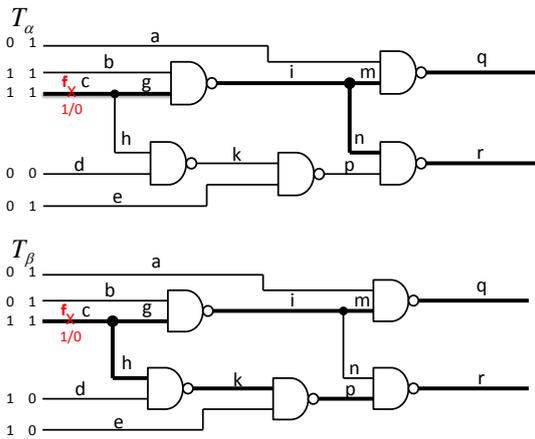


図6 故障活性化率計算例

故障活性化率を用いてテストパターン集合 T_α , T_β の評価を行う。信号線 c の故障 f の到達可能信号線数は図6より10本である。そのうち入力されたテストパターン集合 T_α によって活性化された信号線数は7本である。よって故障 f の故障活性化率は、 $7/10 \times 100 = 70\%$ である。一方、テストパターン集合 T_β によって活性化された信号線数は9本である。よって故障 f の故障活性化率は、 $9/10 \times 100 = 90\%$ である。これにより、テストパターン集合 T_β の方が高品質なテストパターンであると評価される。故障活性化率が向上すると、活性化される信号線数が増加するので、様々な故障モデルの検出可能条件を満たす確率が増加する。

またトランジション故障については、故障活性化率が向上すると、構造的に長い経路が活性化される確率が増加し、より微小な遅延が検出できる可能性が高まる。したがって本研究では、故障活性化率が向上するとテスト品質も向上すると考えることができる。

4. 故障活性化率指向ドントケア割当て法

本章では故障活性化率指向ドントケア割当て法について述べる。故障活性化率を向上させるようにテスト生成を行うと、様々な経路に故障を伝搬させなくてはならないので、テストパターン数が

増加してしまう。そこで本研究では、生成されたテストパターン集合の中で故障活性化率を最大限に向上させる手法を提案する。

図7に故障活性化率指向ドントケア割当て法のアルゴリズムを示す。

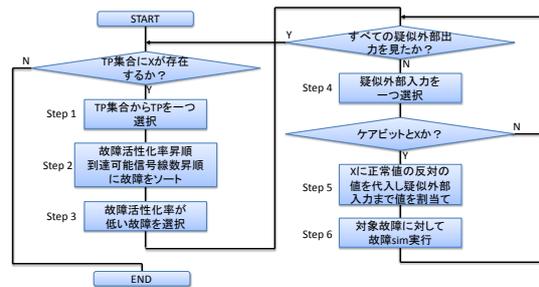


図7 故障活性化率指向ドントケア割当て法

次に各ステップの説明をする。

- (Step. 1) テストパターン集合から、 X がなくなるまでテストパターンを選択する。
- (Step. 2) 回路中の故障の到達可能信号線数が多いものの中から故障活性化率の昇順にソートする。
- (Step. 3) 並び替えた故障から、故障活性化率の低い故障を選択する。
- (Step. 4) 回路中のすべての疑似外部出力の中から一つの疑似外部出力を選択する。
- (Step. 5) 選択した疑似外部出力において、 $0/X$, $1/X$, $X/0$, $X/1$ ならば、故障値 X に正常値、故障値と反対の値を割当てて、疑似外部出力から順に疑似外部入力及び外部入力まで、 X に値の割当てを行う。
- (Step. 6) 故障シミュレーションを実行する。

5. 実験結果

本稿では ISCAS' 89 ベンチマーク回路に対して生成されたテストパターン集合の故障活性化率を評価した。

テスト生成には Synopsys 社の TetraMax (テスト

生成ツール)を用いた。以下に実験結果を示す。

回路名	外部入力数	疑似外部入力数	全出力数	テストパターン数	故障検出率	故障活性化率
s27	7	4	3	4	35.71%	42.8%
s208	19	11	8	17	27.48%	29.4%
s298	17	3	14	35	65.43%	51.7%
s344	24	9	15	41	87.41%	39.1%
s349	24	9	15	39	86.52%	39.6%
s382	24	3	21	39	62.72%	34.6%
s386	13	7	6	34	38.41%	30.6%
s400	24	3	21	37	61.41%	30.0%

図 8 実験結果

図 8 の全出力数とは疑似外部出力数と外部出力数の和である。また、テストパターン数とは、ATPG ツール(TetraMax)によって生成されたテストパターン数、故障検出率とは、生成されたテストパターン集合の故障検出率、故障活性化率とは生成されたテストパターン集合の回路全体の故障活性化率を表している。

実験結果より、故障検出率が低くそれに伴い、検出できる故障数が少なくなあるので、故障活性化率も低くなっている。

6. おわりに

本稿では、ATPG ツールによって生成されたテストパターンの故障活性化率と故障活性化率指向ドントケア割当て法の提案を行った。

参考文献

- [1] Intail Park, Ahmad Al-Ymami and Edward J. McCluskey "Effective TARO Pattern Generation," VTS' 05,
- [2] E. J. McCluskey, A. AlYamani, C. W. Tseng, E. Volkerink, F. F. Ferhani, E. Li and S. Mitra, "ELF-Murphy data on defects and test sets," in Proc. 2004 VLSI Test Symp., pp. 16-22, 2004.
- [3] B. Benware, C. Schuermyer, S. Ranganathan, R. madge, P. Krishnamurthy, N. Tamaraipalli, K-H. Tsai, and J. Rajske, "Impact of multiple-detect test patterns on product quality," Proc. ITC, pp. 1031-1040, Oct. 2003
- [4] 細川利典, 山崎浩二 "故障活性化率向上のための n 回検出テスト生成法", 電子情報通信学会論文誌 D Vol. J90-D No. 6 pp. 1474-1482, 2007

- [5] 富田健 "故障活性化率向上のための可変 n 回テスト生成法とその品質評価に関する研究" 電子情報通信学会技術研究報告. DC, ディペンドブルコンピューティング 107(482), 25-31, 2008- 02-01
- [6] M. Nakao, K. Hatayama and I. Higashi, " On acceleration of test points selection for scan-based BIST" IEICE Trans. Inf. & Syst. , vol. E85-D, no. 10, pp. 1506-1514, 2002
- [7] J. Savir and S. Patil, " Scanbased transition test," IEEE Trans. Computer Aided Design of Integrated Circuits and Systems, Vol. 12, No. 8, pp. 1232-1241, 1993.
- [8] J. Savir and S. Patil, " Scan-based transition test" IEEE Trans. Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, Vol. 13, No. 8, pp. 1057-1064, 1994
- [9] Kajiwaraseiji, Morishima Shohei, Yamamoto Masahiro, Xiaoqong Wen, Fukunaga Masaya-su, Hatayama Kazumi " Estimation of Delay Test Quality and Its Application to Test Generation" IPSJ Transactions on System LSI Design Methodology 1(0) pp. 104-115 2008