C-009

エントロピーを用いて生成したランダムテストの検証
Verification of random test patterns generated using entropy

大豆生田 利章 [*1]
Toshiaki Ohmameuda

1　はじめに

論理回路の故障検出ではテストパターン入力に対する出力が設計値と異なるかどうかにより故障が存在するという情報を得ている．つまり，論理回路の故障検出とはテストパターンを入力に与えたときの出力から故障に関する情報を得ることである．このことから，故障検出に情報理論が適用できる可能性があると考えられる．このような論理回路への情報理論の応用として初期のものには文献 [1] があり，近年ではテストデータ圧縮へ応用されている [2].

Agrawal は回路中のデータの流れに沿って情報量を計算し，出力の情報量が最大になるようにテストパターンを追加することでテスト集合を生成している [1]．これに対して，本発表は論理関数にもとづいてエントロピーを計算する．著者はエントロピーを最大になるように重み付けをしてランダムテストパターンを生成する手法を提案し，研究を進めている [3, 4]．本発表ではこの提案手法の検証を行った結果について報告する．

2　論理関数のエントロピー

本発表ではランダムな入力パターンを与えたときに論理回路中のある信号線において論理値が 1 になる確率を確率値と呼ぶは信号線 X の論理値を同じ記号 X で表す．また，信号線の論理値は X や Y のように英大文字で表し，信号線の確率値は x や y のように英小文字で表す．容易に分かるように論理値 $\overline{X}$ に対する確率値は $1-x$ である．論理和演算および確率値の加算は記号 $+$ で表し，論理積演算および確率値の乗算は演算記号を省略する．

信号線 X のエントロピー $H(X)$ を，信号線の論理値の確率値 x とエントロピー関数を $\mathcal{H}$ を用いて，以下のように定義する．

$$H(X) \triangleq \mathcal{H}(x) = -x\log_2 x - (1-x)\log_2(1-x) \tag{1}$$

特に，ゲート出力のエントロピーを出力エントロピーと呼ぶ．

3　仮想独立仮定によるランダムテストパターンの重み付け

本発表では図 1 に示す ISCAS89 ベンチマーク回路 s27 から抽出した回路に対してランダムテストパターンを生成することを考える．

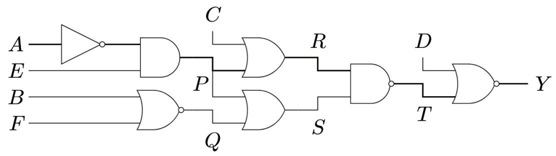

図 1　s27 ベンチマーク回路

図 1 に示した回路は分岐・再収斂構造が含まれている．このようなときは各入力は独立ではないため，出力のエントロピーを最大にする条件を求めることが困難になる．ここでは，仮想的に入力は互いに独立であるという仮定（仮想独立仮定）をして，各ゲートのエントロピーを最大化する解を求めた結果を以下に示す．表中の条件の表記 $[x, y, z]$ は論理値 x，y および z が互いに独立であると仮定して，それぞれの論理値に関してエントロピーが最大になるような条件を求めることを意味している．

4　シミュレーション結果

表 1 の重み付けを用いてランダムパターンを生成して検証した結果を表 2 に示す．表中の数値は冗長故障を除くすべての故障を検出するまでのテストパターン数の平均である．試行回数は 100 万回である．一様なランダムパターンよりも，本発表で提案した仮想独立解によるテスタパターン生成手法

[*1] 群馬工業高等専門学校，National Institute of Technology, Gunma College.

表 2　シミュレーション結果

代表故障	一様	IX	X	XI	XII	XIII
$A/0$	8.12	8.37	7.71	11.24	7.73	6.26
$A/1$	8.12	8.38	7.72	11.23	7.73	11.24
$B/0$	16.25	12.82	21.05	14.74	12.80	14.75
$B/1$	16.26	12.82	21.07	14.74	21.06	14.76
$C/1$	16.25	21.05	21.05	14.74	21.04	14.72
$D/0$	5.42	4.98	5.86	6.64	5.86	6.64
$D/1$	5.42	4.97	5.85	6.64	5.86	6.64
$E/1$	8.14	8.37	7.74	6.26	7.72	11.24
$F/0$	16.24	12.82	12.83	14.75	21.07	14.73
$P/1$	2.96	3.08	2.82	2.67	2.82	2.66
$Q/1$	6.50	4.99	5.87	5.87	5.87	5.87
$Y/1$	1.20	1.23	1.18	1.15	1.18	1.15
平均	9.24	8.66	10.06	9.22	10.06	9.22

表 1　仮想独立仮定をしたときのランダムテストパターンの重み付け

条件	a	b	c	d	e	f
IX：$[a, e, r]$	$\frac{1}{2}$	$*$	$\frac{1}{3}$	$*$	$\frac{1}{2}$	$*$
X：$[a, b, e, s]$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$*$	$*$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$
XI：$[a, b, f, s]$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$*$	$*$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$
XII：$[a, e, f, s]$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$*$	$*$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
XIII：$[b, e, f, s]$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$*$	$*$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$

の方が故障検出までの平均パターン数が減少する場合もあることがわかる．

5　まとめ

仮想独立仮定を採用して，論理回路のエントロピーが最大になるようにランダムテストパターン重み付けすることで故障検出までの平均パターン数を減少できる可能性があることが示された．

謝辞

本発表のエントロピー計算およびテストパターン生成と検証に関しては，本校専攻科学生（現筑波大学大学院図書館情報メディア研究科学生）の川島涼太君に協力してもらった．

参考文献

[1] V. D. Agrawal, “An Information Theoretic Approach to Digital Fault Testing,” IEEE Trans. Comput., vol.C-30, No.8, pp.582-587, Aug. 1981.

[2] K. J. Balakrishnan and N. A. Touba, “Relationship Between Entropy and Test Data Compression,” IEEE Trans. Comput. Aided Design Integr. Circuit Syst., vol.26, No.2, pp.386-395, Feb. 2007.

[3] 大豆生田利章，“エントロピーにもとづくランダムテストパターン生成”，信学技報，Vol.116, No. 108，pp.19-23 (2016).

[4] 川島涼太，大豆生田利章，“エントロピーにもとづくランダムテストの検証”，平成 28 年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会講演論文集，p.142，(2017).