7R-3

信号確率を用いた テスタビリティ評価法の検討

寺元光生　　安達　徹
ＮＴＴ電気通信研究所

1．　はじめに

ＬＳＩの大規模化、高機能化にともない、ＬＳＩの試験が困難になってきている。このため、試験を行う前に試験の難易度を評価するテスタビリティ評価法が注目されている。しかし、従来からの評価法は、回路内の論理値を全て独立に制御できることを仮定しており、回路の再収れんを考慮していない。このため、得られたメジャと試験の難易度との対応が十分とれていない。そこで本検討では、論理値の従属性を考慮した信号確率に注目し、これをメジャと定義し検討を加えた。検討を行うにあたって、組み合わせ回路を対象とし、さらに電子ビームテスタ（ＥＢテスタ）を前提とした新しい環境を念頭においた。ＥＢテスタは、ＳＥＭ像の電位コントラストを利用することにより、ＬＳＩ最上層の配線の電位が測定できるテスタである。従って、従来型テスタと異なり可観測性は大幅に向上している。

2．　テスタビリティ・メジャ

テスタビリティ・メジャは可制御性と可観測性の関数として定義される値である。本検討ではＥＢテスタを前提としているため、可制御性についてのみ着目した。ＥＢテスタを前提とすると、ランダムパタンのような簡単なテストパタンで試験が実行できる。また、今後セルフテスト等においても重要なパタンとなるため、これとマッチしたメジャとして信号確率を選んだ。信号確率とは外部入力にランダムな信号を印加した時に、回路内の配線に論理値１が出現する確率である。入力の信号確率が与えられた時、図１のようにＡＮＤ、ＯＲ等の基本ゲートの機能より出力の信号確率を求めることができる。この際、各ゲートの入力は必ずしも独立であるとは限らない。そこで、以下の規則を適用し、信号の従属性を考慮した。(1)

$$P_j^{\,k} = P_j$$

この結果、再収れんの影響を取り入れることが可能となる。

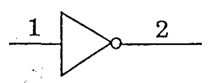
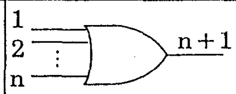
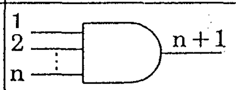
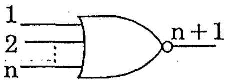
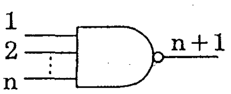
	基本ゲート	信号確率
NOT		$P_2 = 1 - P_1$
OR		$P_{n+1} = 1 - (1-P_1)\cdots \cdots(1-P_n)$
AND		$P_{n+1} = P_1 P_2 \cdots\cdots P_n$
NOR		$P_{n+1} = (1-P_1)\cdots (1-P_2)(1-P_n)$
NAND		$P_{n+1} = 1 - P_1 P_2 \cdots P_n$

図　1　　基本ゲートと信号確率との関係

3．　実験結果

１００～１Ｋゲート程度の組合せ回路に対して本評価法を適用した。

3．1　ランダムパタンを用いた シミュレーション結果との比較

１Ｋのランダムパタンを印加した場合に、各配線に対して論理値１になる割合と本メジャ、並びに再収れんを考慮していないメジャとを比較した。制御系の回路に関して、図２に結果を示す。図から明らかなように、再収れんを考慮しないメジャでは、誤差が大きく実際の試験の難易度を評価することは困難である。

Study of Testability Analysis using Signal Probability
Mistuo TERAMOTO, Tohru ADACHI
NTT Electrical Communications Laboratories

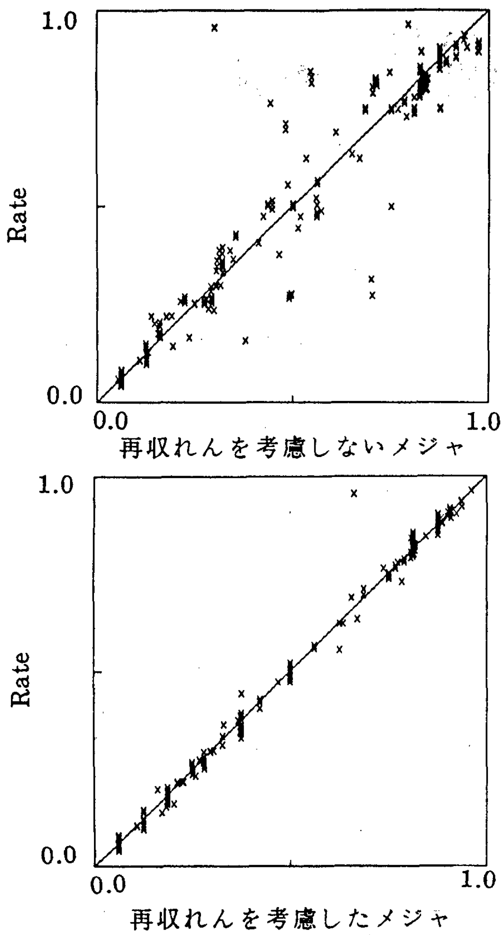


図　2　　再収れんを考慮したメジャの効果

３．２　メジャの分布

回路全体の制御性を見積もることはかなり困難なことである。一般的には、信号確率が０．５付近に集中しているとその回路は比較的制御が容易な回路であり、１あるいは０付近に集中していると制御が困難な回路と言える。そこで、典型的な演算系の回路と制御系の回路に対して、入力信号確率を０．５とした場合のメジャのヒストグラムを求めた。結果を図３に示す。この結果、経験上からも言えるとうり、演算系の回路はランダムパタンでの制御が容易であり、一方、制御系の回路は困難であることが予想される。

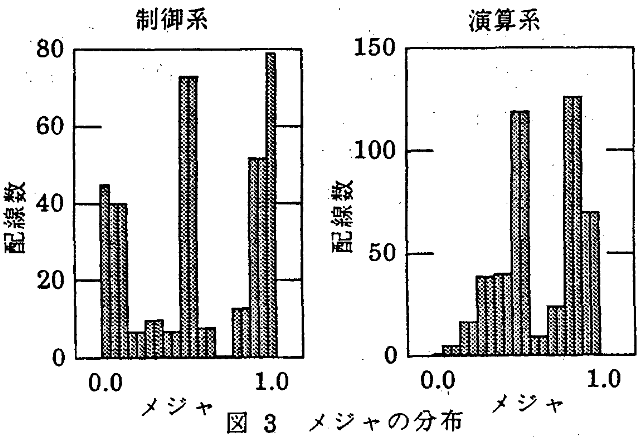


図 3　メジャの分布

３．３　テストパタンの評価

ランダムパタンによる試験では、テストパタン数が重要な要素になる。本メジャは、３．１よりランダムパタンを用いた試験の難易度を評価する良い指標であることが判明した。本メジャを用いてパタンを評価するために、

$\hat{p} = 1-(1-P_i)^n$　（論理値１に制御）

を用いた。ここで、

n：パタン数

$\hat{p}$：nパタン印加する間に論理値１が出現する確率

である。右辺第２項は、nパタン印加しても１が出現しない確率を示している。３００ゲート程度の回路に関する結果を表１に示す。P_i としては回路中最大の値（０．９６８７５）を選んだ。表中で反転率とは、

$$\frac{(1、0\text{双方に制御できた配線数})}{(\text{全配線数})}$$

である。

表　1

$\hat{p}$（%）	n	反転率（%）
９０	７３	９９．５
９５	９４	９９．５
９８	１２４	１００

上記の結果より$\hat{p}$が９０%以上になるようにnを設定すれば、ほぼ全ての配線が制御できるものと考えられる。そこで、適用回路の内で最も制御しにくい配線（P_i＝０．９９９９４）に関してパタン数を推定すると、３８Ｋ（$\hat{p}$＝９０%）要することになる。このような配線に対しては、何等かの対応が必要となろう。

４．　まとめ

本稿で検討したメジャは、ランダムパタンを用いた試験の難易度を見積もる良い指標であることが判明した。より大規模な回路へ適用する場合には、メモリー量、計算時間の増大はまぬがれない。このため、近似手法を開発する必要がある。

参考文献

(1) 玉本、成田、"ランダムテスト法における入力確率の一選定方法"、信学論(D)、vol.J65-D,no.8 pp.1057~1064