MaxWalkSatの実装と低消費電力むけテストパタン生成手法の応用

九州大学
松永　裕介

背景：LSIの製造テスト

- 製造されたLSIが正しく動くか出荷前に検査する.
- なるべく少ない検査入力（テストパタン）で，より多くの故障（モデル）を検査したい.

- 設計検証用のテストベンチはほとんどの場合，役に立たないので製造テスト用のパタン生成を行う必要がある.

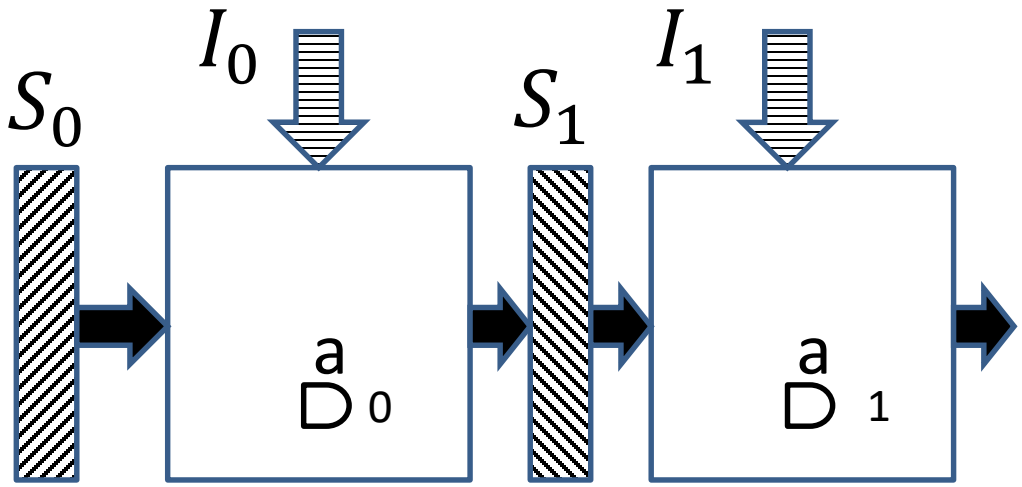
背景:テストパタンと消費電力

- LSIの製造テストにおいて遷移故障を検出するテストパタンの生成問題には課題がある.
- ⇒実時間で動作させる必要があり，信号遷移回数の増加はさまざまな悪影響を招く.
  - チップ内の局所的・全体の発熱量
  - 過度の遷移によるIRドロップ⇒速度の劣化

- 信号遷移回数を考慮したテストパタン生成が必要

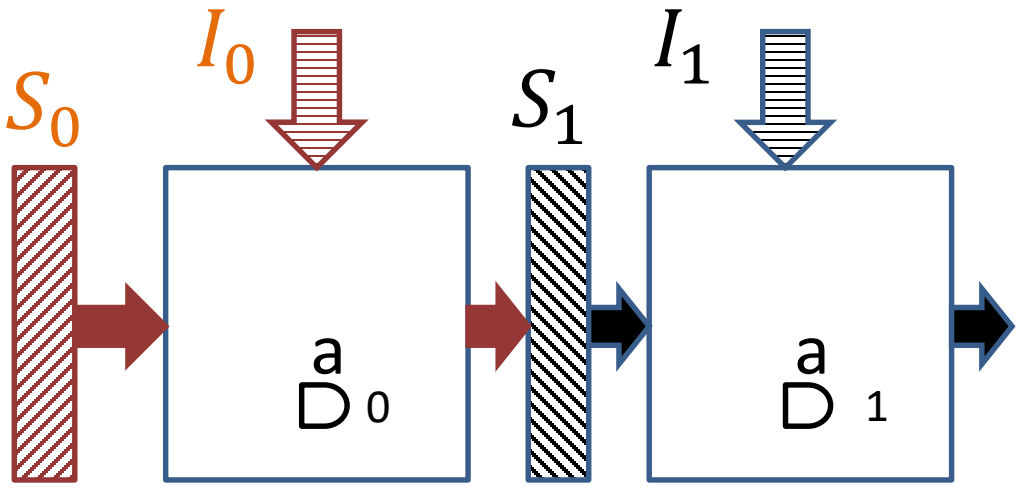
スキャン方式と遷移故障

- スキャンチェーンを利用して同期式順序回路に対して初期状態(S_0)および外部入力(I_0)を与える.
- 通常の動作モードで1クロック進めて外部入力(I_1)を与える.
- 遷移故障を仮定した箇所の値が最初のクロックと次のクロックで異なっており，かつ故障の影響が出力に伝搬する場合，そのパタンで遷移故障が検出されるとみなす.



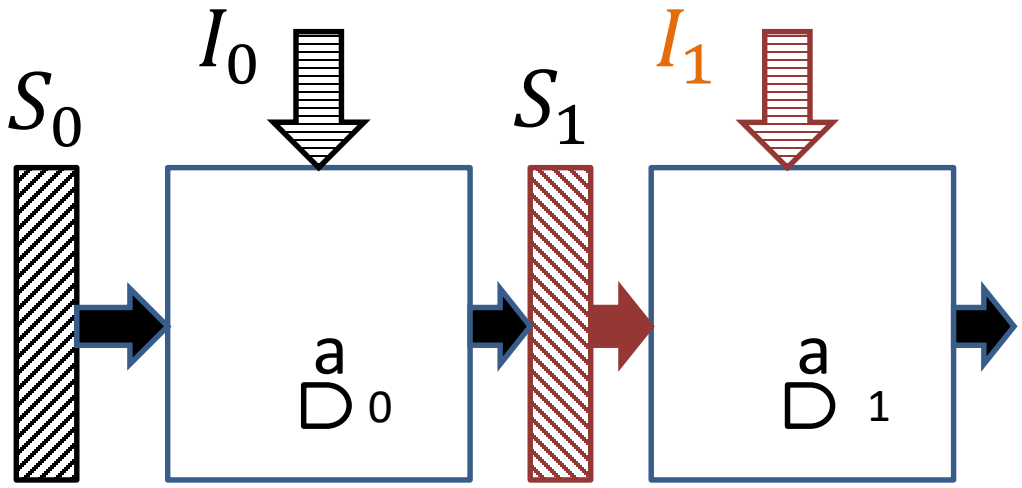
スキャン方式と遷移故障

- スキャンチェーンを利用して同期式順序回路に対して初期状態(S_0)および外部入力(I_0)を与える.
- 通常の動作モードで1クロック進めて外部入力(I_1)を与える.
- 遷移故障を仮定した箇所の値が最初のクロックと次のクロックで異なっており，かつ故障の影響が出力に伝搬する場合，そのパタンで遷移故障が検出されるとみなす.

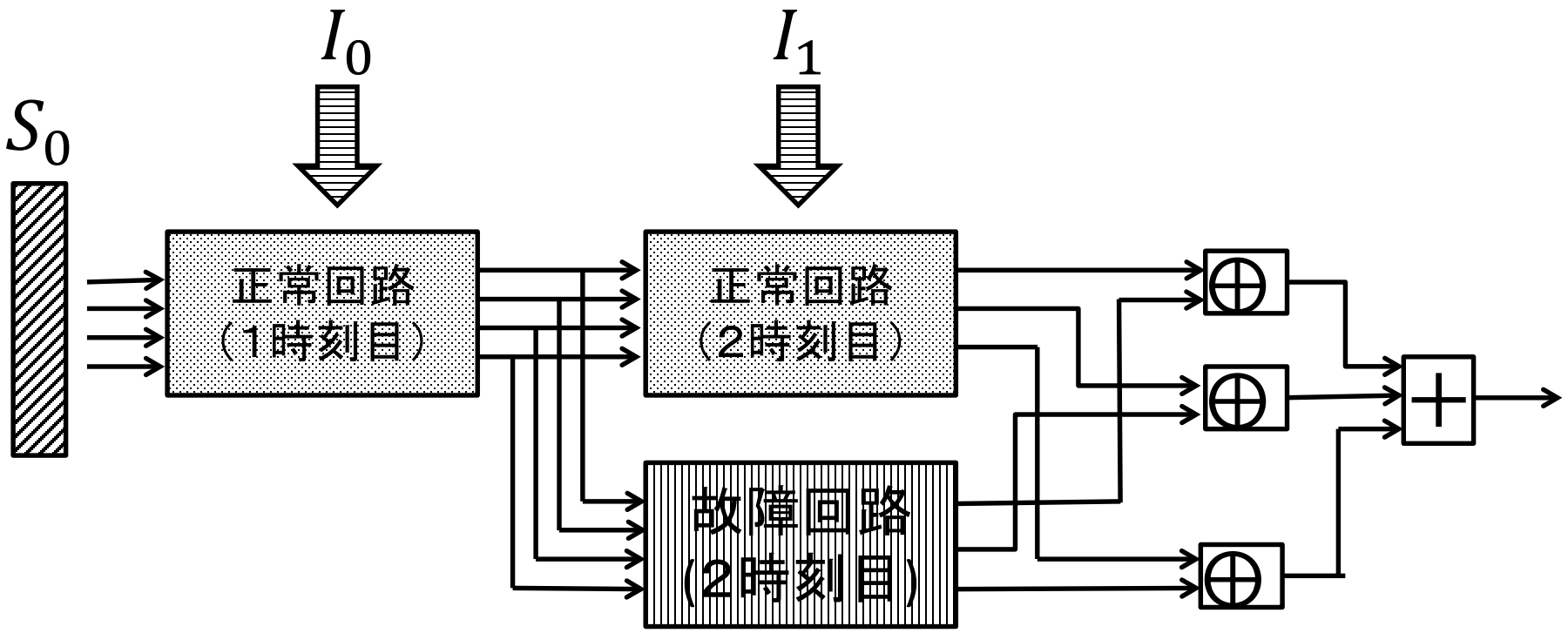


スキャン方式と遷移故障

- スキャンチェーンを利用して同期式順序回路に対して初期状態(S_0)および外部入力(I_0)を与える.
- 通常の動作モードで1クロック進めて外部入力(I_1)を与える.
- 遷移故障を仮定した箇所の値が最初のクロックと次のクロックで異なっており，かつ故障の影響が出力に伝搬する場合，そのパタンで遷移故障が検出されるとみなす.



テストパタン生成用の仮想回路



- 出力を1にするようなS_0, I_0, I_1を求めたい.
- 回路をCNFで表してSATで解けばよい.

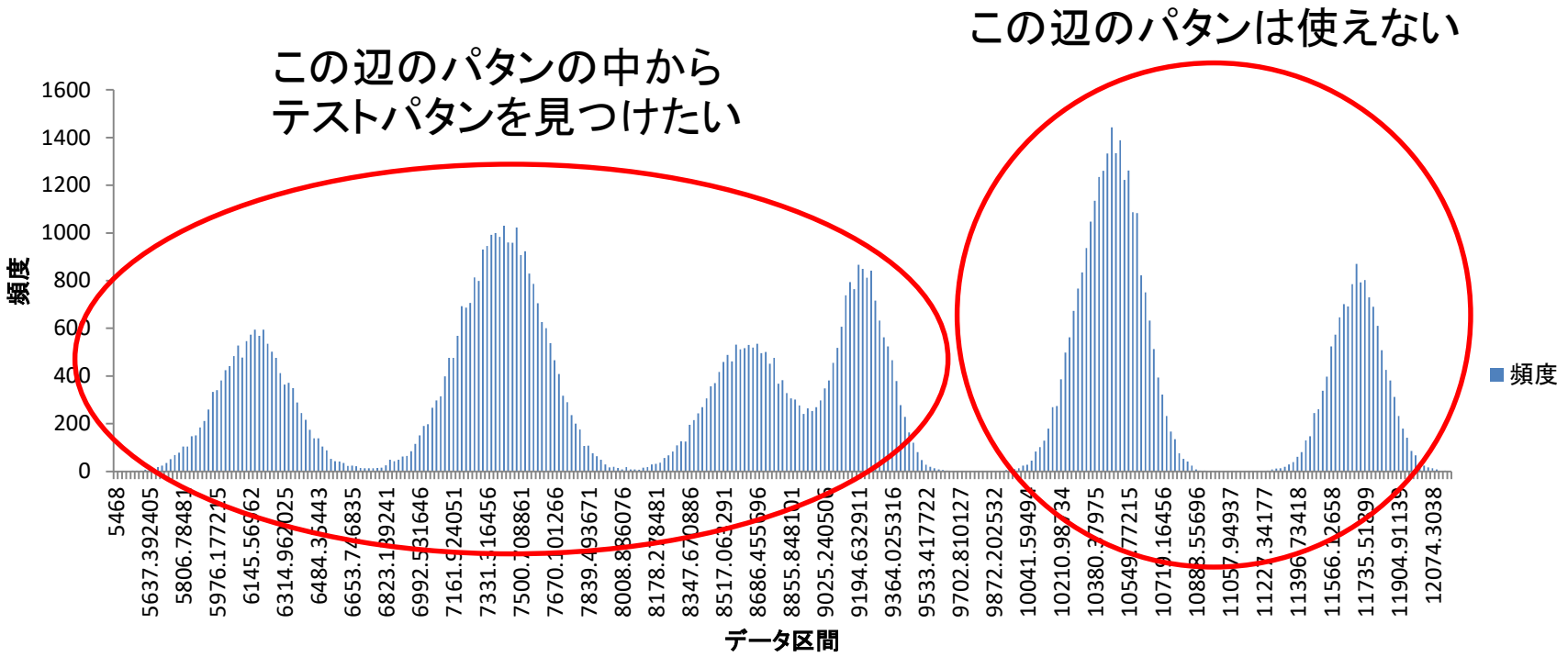
問題点

- SATソルバは制約式を満たす解を求めるだけ.
- 結果のテストパタンの消費電力（信号遷移回数）に関しては関知しない.

- 消費電力を考慮したテストパタン生成をどう行う？

予備実験

- 一様乱数で生成したパタンの遷移回数のヒストグラム
- （故障を検出するテストパタンではない）

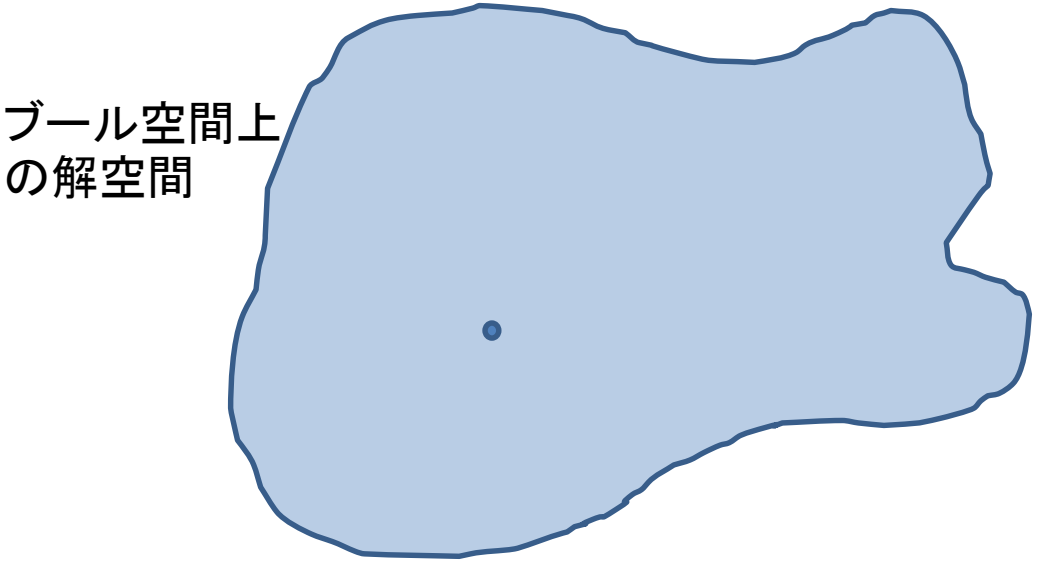


ではどうする？

- 案1） 信号遷移を表す節を追加して MaxSAT を解く
  - 節数が増加
  - そもそも最適解は必要ない.
- 案2） CNFの制約を満たすブール空間上でランダムサンプリング⇒信号遷移回数を評価して良いものを選ぶ
  - WalkSAT など. . .

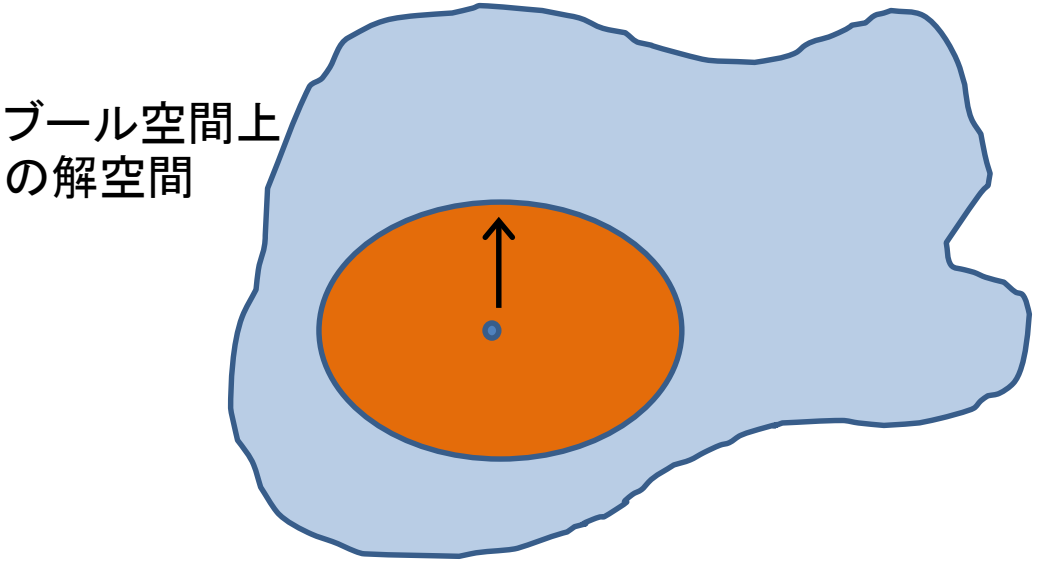
もうちょっとチープな方法

- 普通のSATを繰り返し実行して解空間の一部を表す積和形論理式を生成
- 積和形論理式からランダムサンプリング



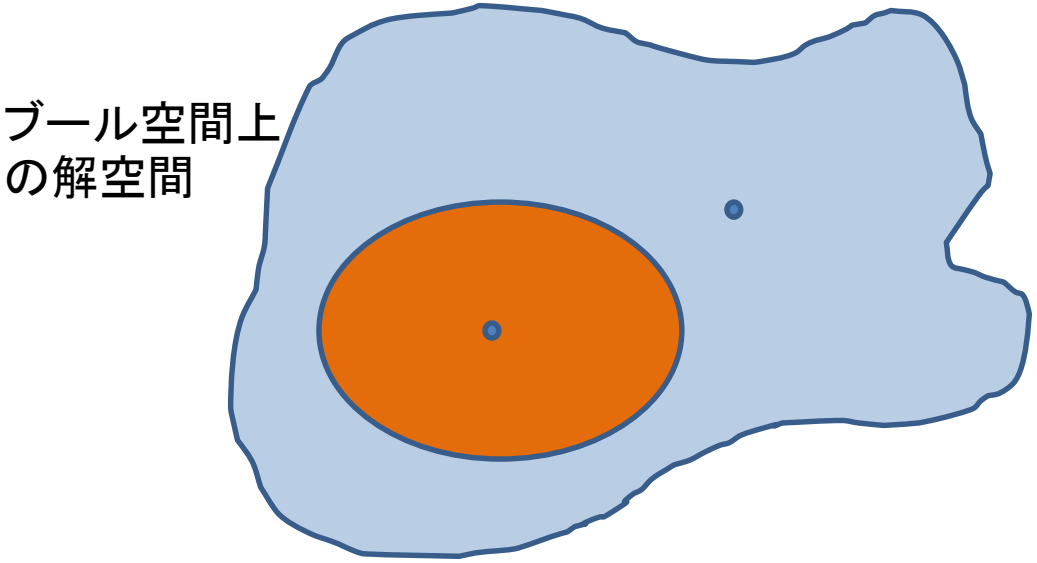
もうちょっとチープな方法

- 普通のSATを繰り返し実行して解空間の一部を表す積和形論理式を生成
- 積和形論理式からランダムサンプリング



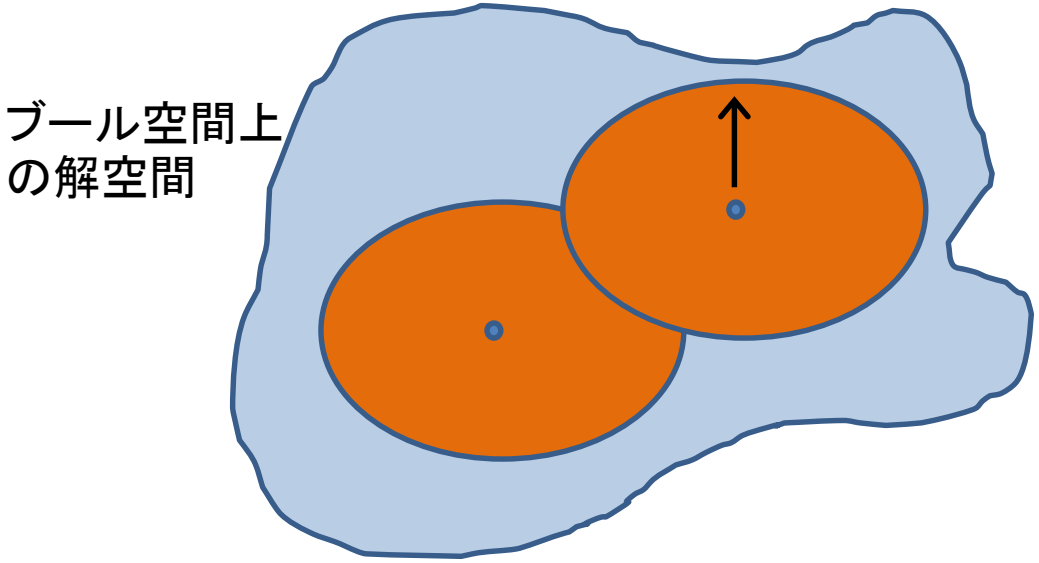
もうちょっとチープな方法

- 普通のSATを繰り返し実行して解空間の一部を表す積和形論理式を生成
- 積和形論理式からランダムサンプリング



もうちょっとチープな方法

- 普通のSATを繰り返し実行して解空間の一部を表す積和形論理式を生成
- 積和形論理式からランダムサンプリング



積和形論理式からのランダムサンプリング

- ナイーブなやり方：
  - 積項の大きさに比例した確率で積項を選ぶ.
  - 積項に含まれる最小項をランダムに選ぶ.
    - 一様なサンプリングとはならない
    - a + b に対して 10:0.25, 01:0.25, 11:0.5
- disjoint 分解を行えばよい.
  - 結構，古典的（‘70，’80）
  - 積項数が指数爆発
  - ZDDで積項集合を表現すればいけるかも？

BDDからのランダムサンプリング

- 積和形論理式⇒BDDに変換
- BDDの各ノードにそのノードの表す論理関数の真理値表密度を持たせる.
- 根のノードから真理値表密度に比例した確率で子供を選ぶ.
- BDDが出来れば超高速
- 積項数が少なければまず爆発しない.

ここまでの整理

- 実は一様なランダムサンプリングにそれほどこだわる必要はない.
- 例えば，‘信号遷移回数の平均値＋１０%’以下の信号遷移回数を持つテストパタンを求めることができるまで上記のヒューリスティックを適当に繰り返す，というようなやり方が考えられる.

おわりに

- 信号遷移回数を考慮したテストパタン生成手法のやり方をいくつか検討.
- 実装評価が必要

- 故障集合に対する要素数の少ないテストパタン集合を求めるアルゴリズムとの協調