

空間的相関を考慮した SSTA における領域の分割数と精度

Accuracy of SSTA Considering Spatial Correlations and Number of Spatial Divisions

二宮進有
Shinyu Ninomiya

橋本昌宜
Masanori Hashimoto

大阪大学情報科学研究科情報システム工学専攻
Dept. Information Systems Engineering, Osaka University

1 はじめに

回路素子の製造ばらつき増大に伴い、従来のコーナベースの遅延解析では遅延の正確な見積もりが困難となり、統計的遅延解析 (SSTA: Statistical Static Timing Analysis) が必要とされている。素子パラメータの空間的相関を考慮した解析方法として、主成分分析を利用した SSTA [1] が提案されている。

空間的相関を持つパラメータは、チップ上の領域をグリッド状に分割し、グリッド毎に相関を持つ確率変数として表される。チップの空間的分割数に関して、計算量と精度のトレードオフが存在し、パラメータの相関によって適当に分割数を定める必要がある。本稿では、空間的相関を考慮した SSTA において、空間的分割数が結果の精度に与える影響を評価する。

2 空間的分割数と SSTA の精度

空間的相関を持つパラメータは、チップを空間的に $n \times n$ 個のグリッドに分割し、同一グリッド内では等しい値を持ち、正規分布に従う確率変数として表されることが多い [1]。グリッド間のパラメータばらつきは、相関係数行列によって表され、文献 [1] では主成分分析を適用することによって、グリッド毎のパラメータの値を無相関な確率変数の線形和で表す。

分割数を多くすれば、位置によって異なる相関を正確に表現できるが、変数数の増加に伴い計算量が増加する。一方、分割数を少なくした場合、計算量は削減できるものの、空間的相関が正確に再現されず SSTA の精度が低下する。

本稿では、90nm プロセスの 5×5 [mm²] のチップ上に回路中のセルをランダムに配置して精度の評価を行った。空間的相関を持つパラメータとして V_{th} を考え、標準偏差は 25mV とした。相関は距離 x [mm] に依存し、 $\exp(-2x)$ の相関係数を持つものとした。ばらつき成分は空間的相関を持つ成分のみとし、配線遅延は考慮せずゲート遅延のみ考慮した。

最初に、SSTA によって回路遅延を正確に予測できることを示すため、ISCAS85 ベンチマーク回路の c7552 に対して、空間的分割数を変化させて SSTA、及びモンテカルロ (MC) 解析 (10,000 回) を行い、回路遅延の平均・標準偏差を求めた (図 1,2)。SSTA とモンテカルロの結果の差が小さく、SSTA によって高い精度で遅延の見積もりができています。また、分割数を増加させると一定の値に収束することが分かる。

次に、ISCAS85 の 5 回路について、分割数による

SSTA の精度の変化を検証した。分割数がもっとも細かい 30×30 の場合における結果を基準とし、その値との誤差を示す (図 3,4)。分割数が少ない場合、どの回路においても結果の標準偏差が過剰に見積もられている。これは、1つのグリッドが大きくなるために、本来は距離が遠く相関の低い2点が同一グリッドに含まれる可能性が高くなり、全体として空間的相関が高くなるためである。一方、平均に関しては、標準偏差ほどの誤差は生じていないことが分かる。

全体的に見ると、この場合は 10×10 分割程度であれば、平均の誤差が $\pm 0.03\%$ 程度、標準偏差の誤差が $\pm 1\%$ 程度に収まり、十分な精度が得られている。それ以上分割数を増やしても精度の向上は小さい。 10×10 分割の場合、隣り合うグリッド間の相関係数は 0.37 程度である。

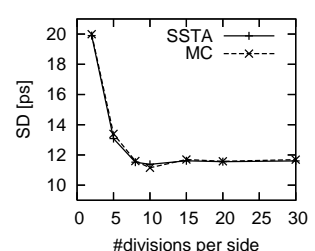
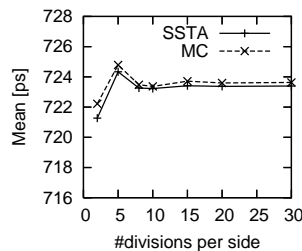


図 1 遅延の平均 (c7552) 図 2 遅延の標準偏差 (c7552)

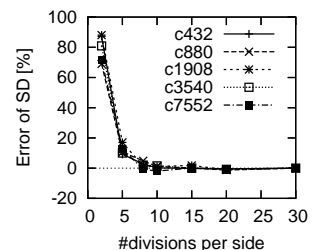
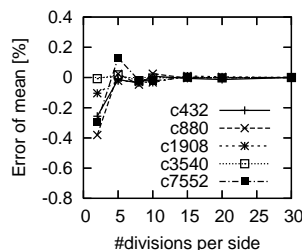


図 3 平均の誤差

図 4 標準偏差の誤差

3 まとめ

製造ばらつきを考慮した SSTA の精度について、空間的分割数の影響を評価した。チップ上の領域の分割数は、SSTA の計算結果の、特に標準偏差に大きく影響する。適切な分割数を用いることで、計算量を抑えつつ精度の高い遅延解析が可能である。

謝辞 本研究は STARC 及び NEDO の助成による。

参考文献

- [1] H. Chang and S. Sapatnekar, "Statistical Timing Analysis Under Spatial Correlations," IEEE Trans. CAD. Vol.24, No.9, pp.1467-1482, 2005.