

統計的電源ノイズモデル化に適した適応的領域分割法

Adaptive Spatial Division for Statistical Modeling of Power Supply Noise

榎並孝司

Takashi Enami

橋本昌宜

Masanori Hashimoto

大阪大学 大学院情報科学研究科 情報システム工学専攻

Dept. Information Systems Engineering, Information Science and Technology, Osaka University

1 序論

電源の低電圧化、消費電力の増大により、電源ノイズを考慮したタイミング解析技術が求められている。我々は主成分分析 (PCA) を用いて電源ノイズを統計的にモデル化し、遅延計算を行う方法を提案した [1]。この手法では電源ノイズを変数におき、PCA で直交化することによりノイズのモデル化を行う。変数を増やせばより詳細なモデルが作成できるが、PCA の計算量は変数数に対して $O(n^3)$ で増加するため、現実的に取り扱える変数数には上限がある。ここでは、精度の向上と計算量の削減を両立するモデル化方法を提案する。

2 アプローチ

電源ノイズは空間的に連続に変化するため、まずいくつかの領域に分割し代表値を変数とする。文献 [1] では均一なグリッド状に分割していたが、電源ノイズは局所的に大きく変動する部分があるため効果的ではない。そこで、変動の大きい部分には多数の変数を割り当て、変動の小さい部分を少数の変数で表現することにより、モデルの精度を維持しながら変数数を削減する。

遅延計算時には電源ノイズの平均、標準偏差、相関係数を用いる [1]。そのため、これらの分割による誤差を小さく保つ必要がある。同一領域内の全ノード (電源ノイズ観測点) は平均、偏差が一定で相関係数が 1 となる。よって、平均、偏差の差が小さく相関が強いノード同士は同じ領域として分類し、さもなくば異なる領域とすることにより、空間的に分割する。ここでは、以下の手順により分割を行う。

1. 電源ノイズ観測ノード 1 つを含む最小の領域に分割
2. 1 つの最小領域に注目し、注目領域に隣接する最小領域が同等と見做せる (領域内の全ノードとの平均、偏差の差が閾値以下および相関係数が閾値以上) ならば注目領域に最小領域を併合
3. 全隣接最小領域が別の領域となれば、別の未処理の最小領域に注目し、2. を実行。未処理の最小領域が無くなれば終了

3 実験

電源ノイズは 1mm 角のチップに FPU および tiny64 プロセッサ [2] を配置し、ランダムな入力を与えるシミュレーションをすることにより得た。得られたノイズに対し、提案手法を適用し分割を行った。平均、および偏差の誤差は、各ノードの値とそのノードが属する領域の代表値 (領域内の平均値) の絶対値差分の最大値で評価する。相関係数は同一領域内では 1 となるため、同一領域内のノード間の相関係数の最小値で誤差を評価する。

分割の閾値を、平均、偏差は全ノード間の最大の平均値 (偏差) 差の 0.1 倍、相関係数は 0.9 としたときの FPU の電源ノイズ分割結果を図 1 に示す。このときの分割数は 142 であるため、同等の分割数として均等に 12×12 分割した場合の誤差と比較する。結果を表 1 に示す。平均値の誤差を 69.8%、標準偏差の誤差を 80.0% 削減し、相関係数の誤差も大きく改善している。tiny64 においても同じ条件で分割すると分割数は 145 となり、平均値の誤差を 65.2% 削減できた。また、分割の閾値を 1 つだけ変更したときの誤差と領域数の関係を図 2 に示す。要求される精度から分割数を調節することが可能である。 12×12 分割の場合より誤差が小さい条件で分割を行うと、FPU では 33 分割、tiny64 では 52 分割まで分割数を削減できた。PCA の計算量は変数数に対し $O(n^3)$ であるため、FPU の計算量は最大 98.8% の削減が期待できる。

表 1: 分割方法による誤差の評価

FPU	平均 Max.[mV]	偏差 Max.[mV]	相関係数 Min.
適応分割	2.74	0.322	0.901
均等分割	9.08	1.61	0.370
tiny64	平均 Max.[mV]	偏差 Max.[mV]	相関係数 Min.
適応分割	0.919	0.109	0.900
均等分割	2.64	0.859	-0.938

4 結論

電源ノイズの空間的変動状況を考慮することにより、精度を維持しつつ空間方向の分割数を削減する手法を提案した。今後は提案手法の時間方向への拡張、および提案手法を用いた遅延解析の検討を進める。

謝辞 本研究の一部は、STARC および NEDO の助成による。

参考文献

- [1] 榎並他, “電源ノイズの空間的相関を考慮した統計的タイミング解析,” 軽井沢ワークショップ (2007).
- [2] OPENCORES.ORG, <http://www.opencores.org/>.

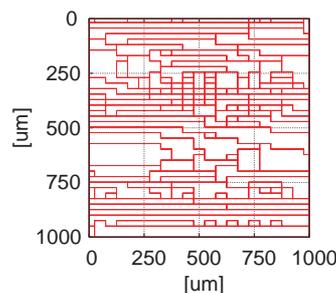


図 1: 分割結果の一例

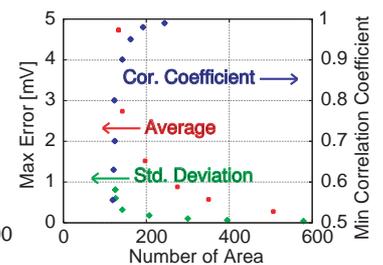


図 2: 誤差とグリッド数の関係