

LSIにおける信号の動作タイミングを

7B-1

考慮したクロストーク検出手法

石森 彰雄 友納 謙† 水沼 貞幸
二木 聡 桑原 教雄 多和田 茂芳†

NEC ソフトウェア北陸 †NEC(株)

1 はじめに

LSIの製造技術の向上により、デバイスの高速化、配線幅や配線間隔の微細化、および配線層の多層化が進み、それに伴い、回路誤動作を引き起こすクロストークノイズが無視できなくなって来ている。

クロストークノイズの影響を正確に求める方法として、LSI製造後にその動作試験を行う方法がある。しかし、この方法では、LSIができるまでに多大なコストとTATが掛かる。また問題が検出された場合、設計・製造のやり直しが必要となる。

そこでレイアウト設計後に、その配線結果を用いて配線間容量を求め、クロストークノイズを算出することが考えられる。この際に信号の動作するタイミングを考慮していない場合には、関係する信号線の全てがクロストークを発生するものとし、その総量を算出することになる [1, 2]。この場合、実際のクロストークノイズをかなり上回る値となるため、多くの疑似エラーが検出される。

本稿のクロストーク検出手法では、クロストークが信号の動作時に発生することに着目し、レイアウト設計後にタイミング解析によって求められた各信号の動作タイミングを考慮することにより、実際の動作に則した、より精度の高いクロストークノイズの検出を網羅的に行うことを実現している。

本稿の手法の適用により、エラー数の約半分を占めていた疑似エラーを除去することができ、解析性が大幅に向上した。

2 クロストーク検出手法

2.1 LSIにおけるクロストーク

LSI内におけるクロストークの要因は、プリント基板、およびセラミック基板と異なり、配線間の容量結合が支配的である。

従って、まず配線間容量を精度良く算出する必要がある。この配線間容量を求める対象としては、同一配線層内における平行配線、異層間における平行配線、および直交配線がある。また配線間容量は、配線の平行/直交する長さ、間隔、幅に依存するため、これらを考慮する必要がある。

An Approach to Crosstalk-Check Considering Timing Overlaps for LSIs.

Akio ISHIMORI, Yuzuru TOMONOU †, Sadayuki MIZUNUMA, Satoshi FUTAGI, Norio KUWAHARA, Shigeyoshi TAWADA †
NEC Software Hokuriku, Ltd, † NEC Corporation

更に、クロストークは、信号が変化(立ち上がり、または立ち下がり)する際に、配線間の容量を介して電流が流れることにより発生する。このため、全ての信号線の動作タイミングを算出して、同方向(立ち上がり同士、立ち下がり同士)に同時に変化する信号に対する配線間容量だけをクロストークの原因として扱う必要がある [3, 4]。

また、信号が変化しない、同時には変化しない、あるいは同時でも逆方向(立ち上がりに対して立ち下がり、立ち下がりに対して立ち上がり)に変化する場合はクロストークは発生せず、遮蔽するものとして扱う必要がある。

2.2 クロストークノイズ算出手法

本稿の手法は、クロストークノイズが信号の変化時に発生することに着目し、レイアウト設計後の網羅的な静的タイミング解析ツール [5] とリンクすることにより信号の動作タイミングを考慮している。

即ち、タイミング解析によって、フリップフロップにクロックが入力されてから、その信号線のソースピンに最も早く到達する時間(t_{MIN})と、ロードピンに最も遅く到達する時間(t_{MAX})の幅を各方向(立ち上がり、立ち下がり)で求めておき、被検信号線に平行/直交する信号線のうち、各々が同時に同方向に動作する信号線だけのクロストークノイズを累計し、最大(最悪)となるクロストークノイズを求めるものである。

ここで、複数の信号線の動作タイミングの幅が同方向で重なってあれば、それらの信号線は同時同方向動作するものとする。また動作タイミングが重なっていなければ、互いの信号線は他方に対して動作変化しないものとする。

被検信号線 i が受けるクロストークノイズ V_N の算出

```
for ( 被検信号線  $i$  と平行 / 直交する他の信号線  $j$  ) {
  被検信号線  $i$  との配線間容量  $C_{Lij}$  を算出
   $C_{LALL} += C_{Lij}$ 
  for ( 各タイミング  $t$  において ) {
    if ( 立ち上がり動作 )  $C_{LR}(t) += C_{Lij}$ 
    if ( 立ち下がり動作 )  $C_{LF}(t) += C_{Lij}$ 
  }
}
for ( 各タイミング  $t$  において ) {
   $V_{NR}(t) = \frac{C_{LR}(t)}{C_{LALL} + C_{FO}} \times \Delta V$ 
   $V_{NF}(t) = \frac{C_{LF}(t)}{C_{LALL} + C_{FO}} \times \Delta V$ 
}
最大(最悪)となる  $V_{NR}(t)$ 、 $V_{NF}(t)$  を求める
```

- CLALL : 全配線間容量
- CLR : 立ち上がり動作する信号線との配線間容量
- CLF : 立ち下がり動作する信号線との配線間容量
- CFO : 信号線iの負荷容量
- ΔV : クロストーク係数
- VNR : 信号線iの立ち上がりクロストークノイズ
- VNF : 信号線iの立ち下がりクロストークノイズ

以下に信号の動作タイミングの考慮の有無により、検出されるクロストークノイズの違いを簡単に説明する。

図1のように信号線A、B、C、及びDが配線されているとする。ここで、信号線Aが受けるクロストークノイズを求めようとした場合、信号線B、C、及びDがクロストークを発生する可能性がある。

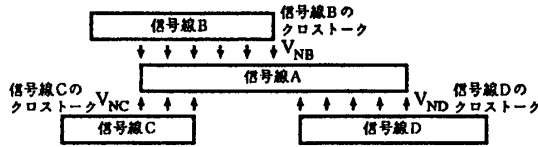


図1: 配線状態

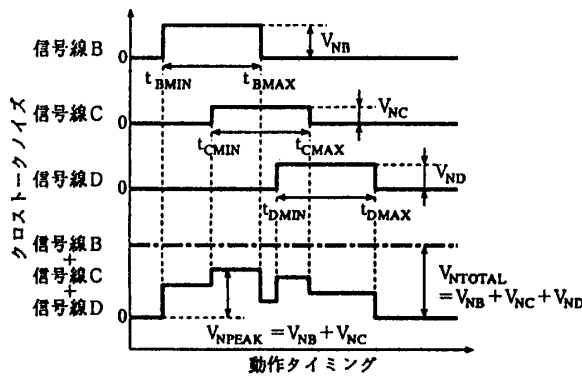


図2: 動作タイミングとクロストークノイズ

動作タイミングを考慮していない場合には、全てのタイミングで同時(同方向)に動作するものと考えられることになり、常に各信号線のクロストークノイズの総量が発生していることになる。

図2で見た場合、 $V_{NTOTAL} (=V_{NB}+V_{NC}+V_{ND})$ のクロストークノイズが発生していると見なされる。

動作タイミングを考慮した場合、各信号線の同方向の動作タイミングにおいて最大(最悪)となるクロストークノイズを調べれば良い。

図2で見た場合、信号線BとDの同方向での動作タイミングは重なっていないため両者は加算されることなく、最大(最悪)値である $V_{NPEAK} (=V_{NB}+V_{ND})$ のクロストークノイズが検出される。

3 評価

表1に、規模の異なる2つのG/A LSI データを使用し、動作タイミングを考慮してクロストーク検出を行った場合と、動作タイミングを考慮しなかった場合のエラー信号線数を示す。

両データとも動作タイミング考慮無しの結果に対して、動作タイミングを考慮した結果では、クロストークによるエラー信号線数がほぼ半減している。また図3に示す通り、クロストークレベル(基準値を1.0としたクロストークノイズの相対値)も減少している。

クロストークの総量ではなく、動作タイミングに則した最大値で扱うため、疑似エラーが減少したと見ることができる。

表1: 評価結果

動作タイミング考慮	データ1		データ2	
	無し	あり	無し	あり
エラー信号線数	24	9	122	73

データ1 データ2
 ブロック数 : 3,693 48,259
 信号線数 : 4,433 54,271

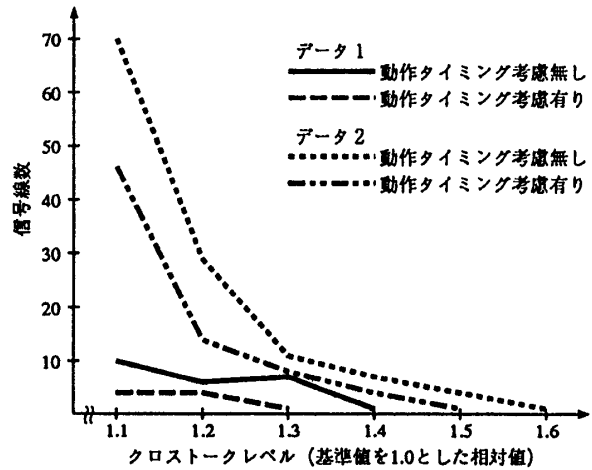


図3: クロストークレベル分布

4 おわりに

LSI内における信号の動作タイミングを考慮したクロストーク検出手法を紹介し、評価結果をもってその有効性を示した。

参考文献

- [1] U.Choudhury, et al., "Automatic Generation of Parasitic Constraints for Performance-Constrained Physical Design of Analog Circuits," *IEEE Trans. on CAD*, vol.12, No.2, pp.208-224, Feb.1993.
- [2] U.Choudhury, et al., "Constraint-Based Channel Routing for Analog and Mixed Analog/Digital Circuits," *IEEE trans. on CAD*, vol.12, No.4, pp.497-510, Apr.1993
- [3] H.Ameriya, "Time-domain analysis of multile parallel transmission lines," *RCA Review*, No.28 pp.241-276, June, 1967.
- [4] F.Y.Chang, "Transient analysis of lossless coupled transmission line in a nonhomogeneous dielectric medium," *Vol.MTT-18*, No.9, pp.616-626, 1970
- [5] "遅延解析システム SPADE の開発" *NEC 技法*, vol.46, No.4, pp.162, May 1993