

## 配線混雑度を考慮した仮想配線容量見積り手法

4 Q - 7

小谷 健 高橋 一浩 定兼 利行 寺井 正幸  
三菱電機株式会社

### 1. はじめに

ASIC 設計において、図1に示す論理合成を用いたトップダウン設計フローが広く用いられている(例えば[1])。この設計フローは、高速合成した回路でフロアプランニングを行い、その結果から求めたブロック別仮想配線容量テーブル(Wire Load Table, 以下WLTと略す)を使って最適化合成を行う。精度の高いWLTを使って最適化合成を行い、配置配線後のタイミング制約違反を無くすことを目的としている。

ここで用いるWLTは、概略レイアウトから求めた各ネットの仮想配線容量を統計的に処理して求める。従って、高精度なWLTを得るためには精度の良い仮想配線容量見積りが重要である。従来、仮想配線容量は、仮想配線長に単位長さ当りの配線容量を乗じて求めていた。しかし、最近の微細化された先端プロセスでは、配線容量における隣接配線間、配線層間の容量(以下、配線間容量という)の割合が増大している。このため隣接率、交差率の考慮なしに仮想配線長のみから配線容量を正確に見積ることが困難になり、その結果配置配線後にタイミング制約違反を生じるという問題がある。

本論文では、配線混雑度の大きな領域では配線の隣接率、交差率が高くなることに注目し、配線長だけでなく配線混雑度を考慮することによって高精度に配線容量を見積る方法を提案する。

以下では、まず対象とする設計フローを説明した後、第3章で提案する配線容量の見積り方法について述べ、第4章で実験結果によりその有効性を示す。

### 2. 論理合成を用いたトップダウン設計フロー

図1に論理合成を用いる設計フローを示す。本フローでは、まずタイミング最適化を省略して高速合成した回路で概略レイアウトを作成する。通常、論理合成では回路をいくつかの部分回路(ブロック)に分割して実行するが、概略レイアウトではこれらのブロックがそれぞれある領域に固めて配置されるように配置領域制約を作成するとともに、各ブロック別のWLTを作成する。最適化論理合成でこれらのWLTを用いることによって各ブロックに適した配線容量の見積りが可能となり、配置配線後の実配線遅延との誤差を小さくできる。このように最適化合成で用いるWLTの精度は非常に重要である。従って仮想配線容量算出の元となる仮想配線長を精度良く求めるため、概略レイアウトではセル配置まで行うのが一般的である。しかし現在の先端プロセスでは配線長のみから配線容量を正確に求めることには限界がある。そこで、我々は仮想配線長とともに仮想配線混

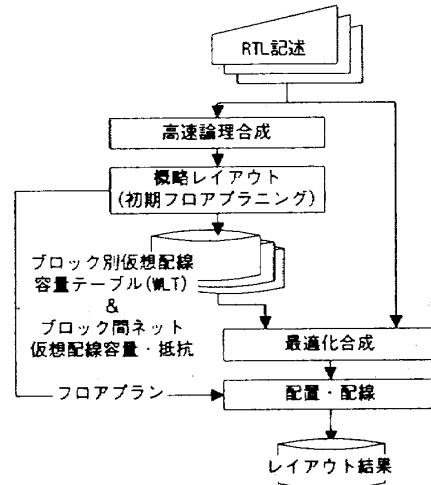


図1. 論理合成を用いたトップダウン設計フロー

雑度を考慮することによって、配線容量を精度良く見積る方法を提案する。なお、本論文では概略レイアウトとしてセル配置を用いるが、配線長をより正確に見積るため概略配線まで行う場合もある。その場合でも本手法は有効である。

### 3. 配線混雑度を考慮した仮想配線容量見積り手法

#### 3.1 LSI のモデル

ここで取り扱うLSIの構造を図2に示す。LSIは中心部分の内部領域と、内部領域を取り囲む周辺領域から構成される。周辺領域にはI/Oバッファセルが、内部領域には標準セル及びRAM等メガセルが配置される。配線には3層以上の多層金属配線を用いる。各配線層にはあらかじめ垂直もしくは水平方向の優先使用方向が決められている。内部領域には垂直及び水平方向の配線トラックが定義され、配線は主に優先使用方向の配線トラックの上に置かれる。なお、ここでは全てのセルは配置済みであるものとする。

#### 3.2 配線混雑度の見積り

配置結果に対する見積り配線混雑度は、LSIの内部領域を垂直・水平方向の分割線で荒く分割した樹目を単位領域として算出する。各樹目内の配線長 $D$ を次の

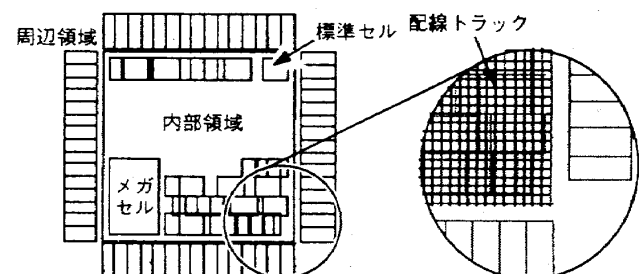


図2. LSI のモデル

ように見積る。(1)各ネット(端子間接続要求)を最小スパニング木を用いて端子ペアに分解する。(2)各端子ペアを囲む最小矩形が着目している樹目と重なる時、その端子ペアの樹目内の配線長を以下の式で定義する。

$$(樹目の高さ \times 樹目の幅 / 矩形の高さ) + (樹目の幅 \times 樹目の高さ / 矩形の高さ)$$

この式の第1項(第2項)は、着目する樹目を配線が垂直(水平)方向に通過する確率とその際の配線長との積に相当する。上記の配線長の全端子ペアに対する総和を、見積り配線長Dと定義する。

$$\text{このとき、その樹目の混雑度 } C_{ng} \text{ を } (D + B) / T$$

で求める。ここで、Bは配線障害物により配線に使用できない配線トラックの長さ、Tは樹目内の配線トラック長の総和である。

3.3 配線混雑度を考慮した配線容量の見積り方法

配線混雑度が大きい領域では、隣接率、交差率が高くなると考えられる。そのような領域を通過する配線の実配線容量は、配線間容量により増加するため、配線混雑度が大きい領域を通過するネットについては、仮想配線容量に対する実配線容量の比が大きくなると考えられる。

図3に、ある回路1(0.35um、4層配線、28380セル、33748ネット)を約20個のブロックに分割して配置した際のブロック内に見積り配線混雑度の平均値と、従来手法の見積りによる仮想配線容量に対する、配置配線結果より算出した実配線容量の比(以下、実/仮比)のブロック内ネットについての平均値との関係を示す。同一の混雑度に対するばらつきが見られるものの、平均配線混雑度が大きいブロックほど、仮想配線容量に対して実配線容量が大きいという傾向を示している。

そこで、ブロックgの平均配線混雑度をCavg(g)、仮想配線長から求めたブロックg内のネットNgの仮想配線容量をC(Ng)と表すとき、配線間容量による配線容量の増加を、以下の式で補正する。

$$\text{補正後配線容量 } C'(Ng) = F(C_{avg}(g)) \times C(Ng)$$

今回、F(Cavg(g))としてはブロック内平均混雑度と実/仮比との関係を近似した1次式

$$F(C_{avg}(g)) = \alpha \times C_{avg}(g) + \beta$$

を用いた。αとβは定数で、回路1を含む複数の回路から求めた。

4. 実験結果

提案手法の効果を確認するため、回路1を用いて従来手法と提案手法をそれぞれ用いた場合の実/仮比毎のネット数の分布を求めた。

図4に回路1のブロックA(ネット数2793本)のブロック内ネットについての分布を示す。ブロックAの配線混雑度見積りの平均値は1.03、ブロック内ネットの補正前の実/仮比の平均は1.35であった。従来手法では仮想配線容量が小さめに見積られて実/仮比が1.4の部分にネット数のピークがあるのに対して、提案手法による結果では1.0付近にピークがあり、かつピークのネット数も多い。提案手法の見積り精度が向上していることを示している。

また、図5に回路1全体についての実/仮比のネット数の分布を示す。従来手法では容量比1.2にピークがあるのに対して、提案手法では1.0にピークがあり、ここでも提案手法が従来手法と比較して精度良く仮想配線容量を見積っていることを示している。

5. まとめ

セル配置後の配線混雑度の見積り値を用いて従来より精度良く配線容量を見積り得ることを示した。

今後、他の回路を用いた検証を行う予定である。また、F()として1次式で良いのかどうかについてさらに調査・考察するとともに、本手法に基づいて生成したWLTを用いた最適化合成、レイアウトを行い、タイミング制約満足度等の評価を行いたい。

参考文献

[1] M.Murakata, et al. "Concurrent Logic and Layout Design System for High Performance LSIs", Proc. of 1995 CICC, pp.465-468,1995.

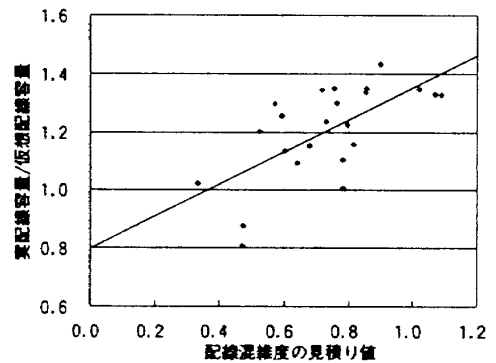


図3. 回路1における配線混雑度と実/仮配線容量比の関係(ブロック別)

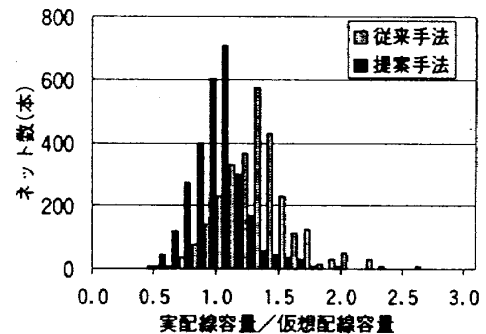


図4. ブロック内ネットについての、従来手法と提案手法による見積り誤差の比較(回路1ブロックA)

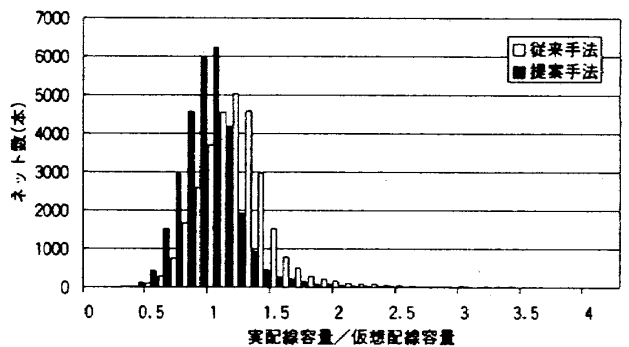


図5. 従来手法と提案手法による見積り誤差の比較(回路1全体)