5L−1

シミュレーテッドアニーリングの並列化について

末松 伸朗，西村 利浩[1]，益岡 竜介，渡部 信雄，浅川 和雄

（株）富士通研究所

1 はじめに

シミュレーテッドアニーリング（SA）法を応用した集積回路の配置設計は既に行なわれており、集積回路の高密度化にともないその重要性は増しつつある。そのSA法を用いた配置設計の抱える最も重要な課題は、実行時間の短縮である。

その対策の一つに、複数の配置要素の移動を独立かつ並列に検討するという形での並列化が考えられるが、そのような並列化を行なった場合、状態の実現確率は一般にギブス分布をとらないし、また、その状態のエネルギーのみの関数ですらない。

しかし、全配置要素数に対して並列度が十分小さいなどの場合には、並列化による台数効果がそのまま得られると思われる。そこで、ひとつの例題についてこの並列化したSA法をを適用してその振舞いを調べ、並列化したSA法の可能性を検討した。

2 計算機実験

2.1 問題設定

ここで用いた例題は、１０×１０のます目に、１００個のタイルを配置するという問題である。そして、二つのタイル間のエネルギーをその位置関係によりあらかじめ定義しておき、その総和を全エネルギーとした。

実際に行なったのは、二つのタイル間のエネルギーがタイル間の距離の関数として

$$\varepsilon(r) = \begin{cases} 5\exp(-\frac{r^2}{4}) & (\ r \leq 5\ ) \\ 0 & (\ r > 5\ ) \end{cases} \quad (1)$$

のように与えられる場合と、

$$\varepsilon(r) = \begin{cases} 5 & (\ r = 0\ ) \\ 0 & (\ \text{otherwise}\ ) \end{cases} \quad (2)$$

のように与えられる場合の二通りである。便宜上、式(1)，(2)の場合をそれぞれcase1，case2と呼ぶことにする。実際の配置設計問題では、配置要素の重なりによるエネルギーと配線等によるエネルギーから全エネルギーが計算されており、重なりに対するものが比較的大きな比重を持つのが普通である。従ってcase1の場合はこれと似た状況を再現してくれる。

また，ここで言う並列化したSA法とは次のようなものである。

普通のSA法は、次のような手順で行なわれる。

1. 一つのタイルをランダムに選ぶ。
2. タイルの移動先候補地を確率的に選ぶ。
3. タイルを移動先候補地に移動させた場合の全エネルギー変化 ΔE を求める。
4. $\Delta E < 0$ ならばタイルを移動させる。そうでないならば、区間 $[0,1]$ の疑似乱数 r を発生し、$r < \exp(-\frac{\Delta E}{T})$ ならばタイルの移動を行ない、そうでなければ移動させない。
5. 1．に戻る。

並列化したSA法では、複数のタイルについて独立にこれらの操作を行なう。従って、全エネルギー変化を求めるときに、同時に移動を検討されている他のタイルは元の位置のまま動かないとしているので、その値は結果から見ると正しくない可能性がある。そのために、一般に状態の確率分布がギブス分布に従わなくなるのである。

2.2 評価方法

この計算機実験の主な目的は、並列化による台数効果が得られるかどうかを調べることにあるので、過程の進行する速さを定量的に評価する必要がある。そこで、この実験では、ランダムに選んだ初期状態から始めて、温度パラメータ $T=0$ の下で時間発展させ、全エネルギーの減少する速さにより過程の進行速度を計ることにした。

Parallelization of the Simulated Annealing Algorithm
Nobuo SUEMATSU, Toshihiro NISHIMURA[1], Ryusuke MASUOKA, Nobuo WATANABE, Kazuo ASAKAWA
FUJITSU LABORATORIES LTD., [1]FUJITSU LTD.

より具体的には、１００のランダムに選んだ初期状態から始めたときの各ステップ数でのエネルギーの平均値により、ステップ数とエネルギーの関係を求め、それにステップ数 t の関数

$$A\exp\{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^{\alpha}\}+B \tag{3}$$

を、A,B,τ 、及び、α をパラメータとしてフィッティングし、$1/\tau$ をその過程の速度として評価を行なった。

2.3 実験結果

case1, case2で得られたステップ数と平均のエネルギーの関係を並列度１、４、３２の場合についてそれぞれ図１，２に示す。どちらも、並列度の増加と共にエネルギーの減少する速度は速くなっているのがわかる。

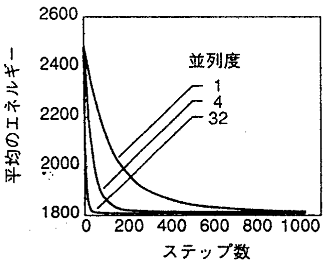

図 1: case1 のときのステップ数と平均のエネルギーの関係

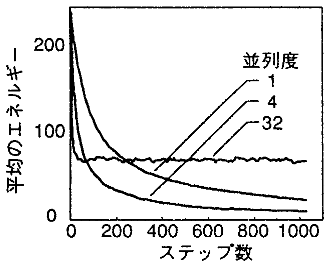

図 2: case2 のときのステップ数と平均のエネルギーの関係

但し、case2 の並列度３２のときには、並列化がエネルギーの降下速度以外に与える影響が顕著に現れており、エネルギーはあまり下がらないまま定常状態に達している。このような結果となった原因は次のように推測される。

すなわち、case2 では、タイルがお互いに重ならないような配置の場合にエネルギー最小であり、その状態に小さな摂動を加えても系のエネルギーは急激に増加する。一方、case1 では、エネルギー最小の状態の近辺に比較的多数のエネルギーの低い状態を持っていると考えられる。従って、並列化による摂動がcase1に比べてcase2の場合には非常に大きなエネルギーの増加を引き起こすことになり、ここで得られた結果のようにな振舞いを示すのである。

図３には、並列度と $1/\tau$ の関係を示す。そこに示されているように、case1, case2 いずれもきれいな比例関係にあり、台数効果が得られているのがわかる。case2 のような影響が出る場合であっても、定常状態へ向かう速度に関してはやはり台数効果がでている。

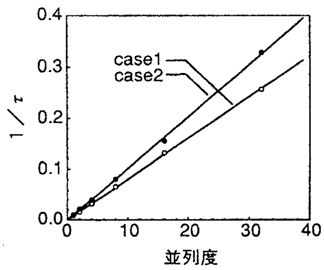

図 3: 並列度と $1/\tau$ の関係

3 まとめ

１０×１０のます目に１００個のタイルを配置するという問題に並列化したSA法を適用してその振舞いを調べた。その結果、台数効果は比較的多様な場合にしかも、かなり大きな並列度に対しても期待できることが分かった。

但し、実験により得られたエネルギーの時間発展の様子から、エネルギーに関して見た状態空間の構造によっては、温度パラメータが小さい時に並列化による影響が非常に大きくなることが予想される。

とにかく、配置設計の場合に比較的似た状況であるcase1 の場合には、全配置要素数の３２％に及ぶ並列度まで問題なく台数効果が得られており、この並列化したSA法は配置設計問題の高速化に対して非常に有望である。