ハイパーグラフｋ分割手法に基づくスタンダードセル配置手法

2H－3

上土井 陽子　川本 貞行　若林 真一　小出 哲士　吉田 典可
広島大学 工学部

1. まえがき

VLSIレイアウト設計におけるスタンダードセル配置問題に対し，幾つかの手法が提案されてきた．その中で論理回路分割に基づく配置手法はVLSIの集積度が増すにつれ重要性が高くなっている．代表的な論理回路分割手法として反復改良法に基づく手法[1]，遺伝的アルゴリズム等がある．遺伝的アルゴリズムは局所解に陥りにくく，良質な解が得られることが示されている[2]．本稿では遺伝的ハイパーグラフ4分割手法を論理回路分割の初期段階に用いるスタンダードセル配置手法を提案する．

2. 準備

本研究で考察するスタンダードセル配置問題(問題SCP)を以下に定式化する．

【問題SCP】

[入力] (1) 論理回路 $H=(V,E)$

V:セル集合　E:ネットリスト

(2) 各セルの幅と高さ

(3) I/O端子の位置

(4) セル配置列数

[出力] 制約条件を満たし，目的関数を最小にする論理回路の配置．

[目的関数] チップ面積＋α×仮想配線長（α:定数）

[制約条件] セルは重ならず，列上に配置される．□

3. 遺伝的ハイパーグラフｋ分割手法

問題SCPに対する論理回路分割に基づく配置手法では，論理回路2分割手法が一般には用いられているが，4分割手法を用いた場合，2次元的に階層的配置が行えるため，2分割より良い解を得ることができる[3]．論理回路分割問題は一般に，セルを節点に，ネットをハイパー枝に対応させることにより，ハイパーグラフk分割問題(問題HKS)として定式化できる．

【問題HKS】

[入力] 自然数k，重み付きハイパーグラフ$H=(V,E)$

[出力] 制約条件を満たし，カット数を最小にするHのk分割

[制約条件]

$$\max_{i,j\in\{1,2,\cdots,k\}}\left\{\left|\sum_{u\in V_i} size(u)-\sum_{v\in V_j} size(v)\right|\right\}/W \le \max\{\max\{size(w)\mid w\in V\}/W,\ \beta\}$$

但し，$W=\sum_{u\in V} size(u)$，βは$0.01\leq\beta\leq0.10$を満たす実定数とする．□

階層的論理回路分割では初期段階の分割が最終的な分割結果の質に大きく影響するため，より良質な分割が必要である．本稿では，初期段階の分割に対し著者らが既に開発している問題HKSに対する遺伝的ハイパーグラフk分割アルゴリズムGHKS[2]を適用した．アルゴリズム中では，解の生成と交配を行う手法として著者らによって開発された高速ハイパーグラフk分割アルゴリズムHKS[2]を適用している．

【アルゴリズムGHKS】

STEP1: 定数p,R,mを入力する．$r\leftarrow 0$，ここで p:各世代での個体数 R:世代数 m:突然変異数

STEP2: アルゴリズムHKSを用いてp個のk分割の初期解の集合Pを生成する．

STEP3: Pに含まれている全ての非順序対に対し，アルゴリズムHKSを用いて解を交配し，新しい解を構成する．

STEP4: STEP3で得られた$p(p-1)/2$個の中で，目的関数が良い解をp-m個，目的関数が改良されなかった解をm個選び，それらの解から構成される集合を新たにPとする．

STEP5: 目的関数が改良されれば$r\leftarrow r-R$，そうでなければ$r\leftarrow r+1$.

STEP6: $r\leq R$ならSTEP3へ，それ以外は終了．□

A Standard Cell Placement Method Based on Hypergraph k-Way Partitioning, Yoko KAMIDOI, Sadayuki KAWAMOTO, Shin'ichi WAKABAYASHI, Tetsushi KOIDE, Noriyoshi YOSHIDA, Faculty of Engineering, Hiroshima University.

STEP3の解の交配では2個の解$S_1=(V_{11}, V_{12}, \cdots, V_{1k})$, $S_2=(V_{21}, V_{22}, \cdots, V_{2k})$に対し，$k^2$個の$V_{1i} \cap V_{2j}, 1 \leq i,j \leq k$なる節点集合の中でサイズの大きい$k$個の節点集合をそれぞれ1個の節点に縮約し，アルゴリズムHKSを適用する(図１).

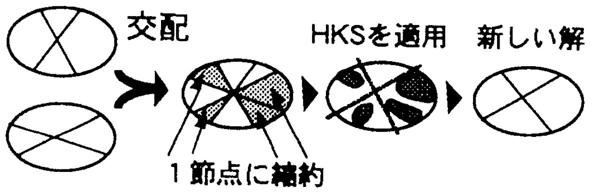

図1. 解の交配

4. スタンダードセル配置アルゴリズム

問題SCPに対するヒューリスティックアルゴリズムSCPを提案する．アルゴリズムSCPでは階層的に論理回路を分割する．階層的な論理回路分割においては分割する領域外の論理回路の配置情報の考慮が重要となる．本手法では分割毎に階層的に概略配線を決定し，分割時には分割領域外の端子を仮想端子として分割に加えるターミナルプロパゲーション法(TP)[3]を適用した．

【アルゴリズムSCP】

Phase1

I/Oパッドを配置する．

Phase2

1) 定数Nを入力する．
2) TPにより仮想端子を配置する．
3) 遺伝的4分割手法で論理回路を4分割する．
4) 概略配線木を構成する．
5) 2)~4)をN回繰り返す．
6) TPにより仮想端子を配置する．
7) FM2分割法[1]を適用し，1つの領域内の論理回路を２分割する．
8) 概略配線木の更新を行う．
9) 分割領域内のセル数がある数以下になればPhase3へ．そうでなければ6)へ．

Phase3

セルの詳細な座標を決定する． □

5. 実験

本手法をサン・マイクロシステムズ社のSPARC station 2上でC言語を用いて実現し，論理回路分割手法としてFM2分割手法[1]とターミナルプロパゲーション(TP)を用いた手法と比較した．ここで，データはMCNCのベンチマークデータである(表1)．また遺伝的4分割手法では p=5,m=2,R=5 とした．N=1としたアルゴリズムSCPに対する実験結果を表2に示す．実験の結果，提案手法は実用的な計算時間でFM2分割手法にターミナルプロパゲーションを適用したものと比べ仮想配線長で平均32%短く，配線混雑度で平均44%小さい配置を求めている．よって，本手法の有効性が確認された．

表１．実験データ

データ	#cell	#net	#r	データ	#cell	#net	#r
highway	54	79	5	primSC1	752	1159	18
fract	125	163	7	industry1	2271	2479	26
playout	602	664	15	primSC2	2907	3671	32

#cell:セル数 #net:ネット数 #r:セル列数

表２．実験結果

データ	FM2分割+TP			GWHB+TP		
	length ×10³[λ]	density	CPU [sec.]	length ×10³[λ]	density	CPU [sec.]
highway	30	162	0.4	23	113	1.7
fract	117	595	1.5	73	286	3.5
playout	915	3440	29	579	1598	33
primSC1	2506	2858	36	2132	2242	52
industry1	6660	22060	381	4131	10474	356
primSC2	24842	38457	688	14425	16848	615

length:仮想配線長の総和 density:チャネル密度
CPU:CPU時間

6. あとがき

今後の課題としては良質な解を得ることを目的としたアルゴリズムの分散化についての考察が挙げられる．本研究の成果の一部は文部省科学研究費補助金一般研究(C)(課題番号05680274)による．

文献

[1] C.M.Fiduccia and R.M.Mattheyses:"A linear-time heuristic for improving network partitions," Proc. 19th DA Conf., pp.175-181 (1982).
[2] 上土井，若林，吉田："ハイパーグラフをk分割する遺伝的分散アルゴリズムとその実験的評価," 信学技報, COMP92-97, pp.39-48 (1993).
[3] P.R.Suaris and G.Keden:"Quadrisection: a new approach to standard cell layout," Proc. ICCAD 87, pp.474-477 (1987).