動的クラスタリングに基づくハイパーグラフ k分割手法†

4L－3

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

ハイパーグラフ分割はVLSIチップのレイアウト設計やシステム分割などに主に用いられる．近年ではVLSIの大規模化によってハイパーグラフ分割問題もそのサイズ，複雑さを増し，解くためにはより多くの計算時間，メモリが必要となってきた．特にVLSIレイアウト設計においては，チップのパフォーマンス向上のためにより良い分割手法が求められている．ハイパーグラフ分割手法はいくつかの方法に分類できるが，それらの中でも特に，ハイパーグラフの節点集合をあらかじめクラスタリングした後に分割を行なう方法は，大規模回路への適用が可能であること，より良い解を得ることもできることなどの理由により，大変有効である [1] [4]．クラスタリングを適用した分割手法の多くでは，クラスタリングは分割の前処理として行なわれており，分割中のクラスタは固定されている．しかし分割中にクラスタを変更しながら反復改良を行なえば，よりフレキシブルな分割を行なうことができ，解の改良が望める [2]．本稿では，動的クラスタリングに基づくハイパーグラフ分割アルゴリズムを提案する．

2 問題の定式化

【ハイパーグラフ k分割問題】
［入力］　ハイパーグラフ $H=(V,E)$, V：節点（端子）集合, E：ハイパー枝（ネット）集合, 整数 k, 分割集合間のバランスの余裕 β
［出力］　目的関数を最小とする H の k分割
［目的関数］分割集合間にまたがる枝数（カット数）
［制約条件］各分割集合間のサイズの最大差が α 以内, $\alpha = max\{$ 最大節点サイズ, (節点サイズの総和/k) $\times \beta\}$

3 アルゴリズム

提案アルゴリズムについて説明する．提案アルゴリズムは大きく分けてクラスタ変更フェーズとクラスタ移動による分割改良フェーズからなっている．アルゴリズムのフローチャートを図1に示す．

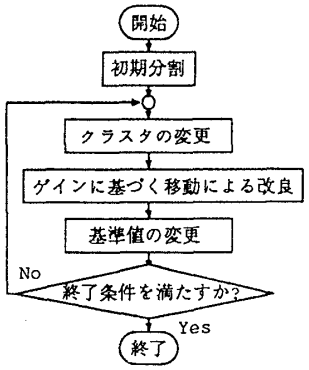

図1 フローチャート

3.1 クラスタ変更フェーズ

各クラスタ c_i は以下の式で表される結合度によって評価される評価値を持つ．

$$eval(c_i) = \frac{\text{クラスタ内枝数}}{\text{クラスタ内節点数}}$$

アルゴリズム中では図2のような関数によって表される評価基準値があり，各クラスタは評価基準値より大きな評価値を持つか持たないかによって成長，分解が行なわれる．クラスタ変更フェーズでは，まず基準を満たさないクラスタ集合を全て分解し，次に基準を満たすクタスタ集合を成長させる．最終的には全てのクラスタが分解されてアルゴリズムが終了するように評価基準値の関数は設定される．

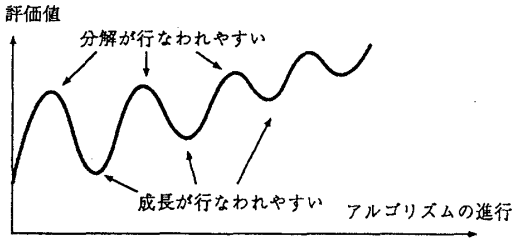

図2 評価基準値

3.1.1 クラスタ成長

クラスタはクラスタ同士のマージを行なうことによって成長させる．分割アルゴリズムにおいてカット数の少ない分割を求めることを容易にするために，クラスタリングでは外部端子数の減少を目的とする．ここで外部端

†"A Hypergraph k-way Partitioning Method Based on Dynamic Clustering" by Sadayuki KAWAMOTO, Shin'ichi WAKABAYASHI, Tetsushi KOIDE, and Noriyoshi YOSHIDA, Faculty of Engineering, Hiroshima University.

子とはクラスタ外につながるネットの端子のことである．まずマージするクラスタ対を接続度を基準にして求めて，接続度の大きなものからマージを行なって行く[2]．以下にクラスタリングの手続きについて述べる．

N_cを2クラスタが共通に持つネットの集合とし，クラスタリングにおける任意の2クラスタc_1, c_2の接続度$P(c_1, c_2)$を次のように表す．

$$P(c_1, c_2) = \sum_{w \in N_c} (f(n_w) - f(n_w - 1))$$

ここでn_wはネットwが接続するクラスタ数，$f(n_w)$はn_wに関する評価値で図3のような関数である．

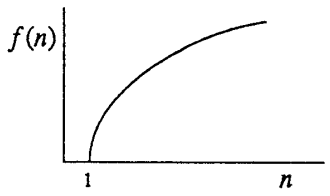

図 3 $f(n)$

2端子ネットに接続するクラスタを1つのクラスタにマージした場合が最も目的関数の減少度が大きく，多端子になるほど目的関数の減少度は低くなる．ただし関数Pの値を直接用いてマージを行なったのでは大きなクラスタがより大きくなってしまうため，これをコントロールする関数Qを導入する．

$t(c_i)$をクラスタc_iの外部端子数とし，c_1とc_2がマージされc_3ができるとすると$Q(c_1, c_2)$を以下のように表す．

$$Q(c_1, c_2) = \frac{t(c_1) + t(c_2) - t(c_3)}{t(c_1) + t(c_2) - (\text{全節点の平均次数})(c_3\text{内の節点数})^r}$$

ここでrは回路の*Rent*指数[5]で，予め求めておく．つまりこの式は(減った端子数)/(減るべき端子数)を表しており，値が大きなほど好ましい．

マージの基準となる接続度$F(c_1, c_2)$は最終的に次のように表す．

$$F(c_1, c_2) = P(c_1, c_2) \times Q(c_1, c_2)$$

【クラスタ成長アルゴリズム】

STEP1 クラスタの集合をC，その中で基準値を満たす部分集合をC_{sat}とする．

STEP2 C_{sat}内の各クラスタに対し，そのクラスタと最も接続度が強いクラスタを求める．その時の接続度をクラスタの結合値と呼ぶ．

STEP3 $C_{sat} = \phi$までSTEP3a,3b,3cを繰り返す．

STEP3a 結合値を最大とするクラスタc_{max}と，STEP2において計算した相手のクラスタc_cとをマージする．

STEP3b Cからc_{max}, c_cを削除する．

STEP3c c_{max}とc_cにつながりを持つクラスタの結合値を更新する．

3.1.2 クラスタ分解

評価基準値を満たさないクラスタは分解される．クラスタは図4のように階層的に構成されており，その構成要素と評価値は保存されている．分解手続きは階層中の全ての評価値を満たさないクラスタに対して適用される．

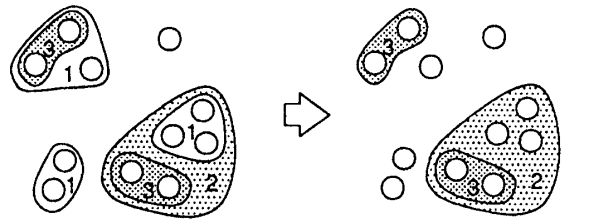

図 4 クラスタの分解

3.2 クラスタ移動による分割改良

クラスタの移動による反復改良は，比較的高速で反復改良に適している FM 法[3]を用いている．

アルゴリズムの終了条件は，規定回数以上改良が行なわれなかった時に満たされる．またバランス制約はアニーリングの概念に基づき，初期段階では緩く，アルゴリズムの進行とともにきつくする．

4 あとがき

今後の課題として提案手法のシミュレーション実験による諸関数，パラメータのより良い設定，分割改良フェーズに用いる新たなアルゴリズムの開発が挙げられる．

本研究の成果の一部は文部省科学研究費補助金試験研究 (B)(2)(課題番号 06558042) による．

参考文献

[1] J. Cong and M. Smith: "A parallel bottom-up clustering algorithm with application to circuit partitioning in VLSI design," Proc. of 30th Design Automation Conference, pp. 755–760 (1993).

[2] 枝廣, 吉村："階層クラスタリング法を用いたセル列型 LSI のための配置手法," 信学技報, VLD 90-62 (1990).

[3] C. M. Fiduccia and R. M. Mattheyses: "A linear-time heuristic for improving network partitions," Proc. of 19th Design Automation Conference, pp. 175–181 (1982).

[4] L. Hagen and A. B. Kahng: "A new approach to effective circuit clustering," Proc. of International Conference on Computer-Aided Design, pp. 422–427 (1992).

[5] B. Landman and R. Russo: "On a pin versus block relationship for partitions of logic graphs," IEEE Trans. on Computers, Vol. C-20, No. 12, pp. 1469–1479 (1971).