周期的繰り返し矩形配置の解表現と配置最適化

小川 智之 (310025)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2005 年 2 月 10 日

キーワード: フロアプラン，シーケンスペア，コード表現，非スライス配置.

矩形配置問題とは，二次元平面上に複数の矩形を互いに重なることなく配置する問題であり，VLSI レイアウトを始めとして，様々な応用を持つ最適化問題である．矩形の配置領域の面積最小化などの最適配置問題は NP 困難に属することが知られており，近似解法や Simulated Annealing 法などの確率的最適化法が考案されている．

本研究では，繰り返し配置と呼ばれる特殊な配置問題を取り扱う．これは基本矩形集合が周期的に複数回（有限回，あるいは無限回）繰り返し並ぶ配置である．このような矩形の周期的繰り返し配置は，同一構造のプロセッサが複数個並ぶオンチッププロセッサアレイ，基本論理セルとスイッチボックスが規則正しく並ぶ FPGA，あるいはメモリのような同一の回路構造が繰り返し配置される VLSI レイアウトに現れる問題である．また，複数セットの部品切り出しや，矩形集合の円筒側面上への配置（平面化すると無限繰り返しとなる），ループ状の計算処理におけるループパイプラインスケジュール（ガントチャート表現）など，回路レイアウトにとどまらない応用も期待される．

本研究では，繰り返し配置に対する研究の第一段階として，水平方向への一次元的な繰り返し配置について検討し，繰り返し配置の組み合わせ問題としての解表現，配置の最適化手法の開発を行った．

繰り返しのない通常の矩形配置問題の解表現手法としてシーケンスペアが提案されている．シーケンスペアは矩形名からなる二つの順列 (Γ_+, Γ_-) によって構成され，各順列の並びによってすべての二矩形間の相対位置関係を矛盾無く規定するものである．与えられた矩形配置からシーケンスペアを抽出（エンコード）する操作としてグリッディングと呼ばれるアルゴリズムがあるが，周期的繰り返し配置に対してもそれを適用することが可能であり，抽出される二つの順列 Γ_+ と Γ_- は，ともに矩形名が周期的に繰り返す順列となる．一方，Γ_+,Γ_- から逆に繰り返し配置を導く（デコード）することを考えた場合，繰り返し配置では一周期内の相対位置関係だけでなく異なる周期にある矩形同士の相対位置関係も規定する必要があるため，二矩形間の相対位置関係を一意に決定することができないという問題に直面する．

このデコードにおける問題を解決するため，二つの順列に加え第三の順列 Γ_s を導入することで，周期的繰り返し配置を解表現する新たなコーディングシステムを開発した．以下，この三つの順列による解表現手法をシーケンスペアにならい，シーケンストリプルと呼ぶ．シーケンストリプルでは，周期的に繰り返される Γ_- の一周期内における Γ_+ の並びを Γ_s によって規定する．シーケンスペアと比べ，順列を一つ多く使うが，一周期内の矩形間の相対位置関係だけでなく，異なる周期間にある矩形同士の相対位置関係をも規定することが可能となった．なお，矩形数を n とするとき，本研究で開発したシーケンストリプルのデコードの計算量は $O(n^3)$ であり，解空間の大きさは $O((n!)^3)$ である．

シーケンストリプルにより定義される解空間を Simulated Annealing 法により探索し，準最適な矩形配置を求めるプログラムを C 言語を用いて実装し，矩形配置生成の実験を行った．入力は無作為に生成した各矩形の幅と高さとし，“ 繰り返し周期の幅 L × 配置領域の高さ H ”が最小となることを最適化の目標とした．様々な入力に対して実験を行った結果，最適化される配置には縦長になる傾向があることがわかった．この傾向は，ランダムに生成されたシーケンストリプルにおいて，二つの矩形が上下関係になる確率と左右関係になる確率に偏りがあることからも裏付けられ，良好な解の探索のためには，こうした偏りを打ち消すような探索上の工夫が必要と考えられる．

今後の課題として，良好な解を得るための解空間探索手法，デコードアルゴリズムの高速化，計算量と解空間の大きさについてより優れた解表現手法の開発が挙げられる．