

Sequence-pair 表現を利用した服飾用自動マーキングシステム

児玉 親亮, 高橋 涉吾, 藤吉 邦洋
東京農工大学 工学部 電気電子工学科

あらまし 与えられた洋服の型紙を一定幅である布地に配置することをアパレル業界では「マーキング」と呼び、生産コストを減らすためにできるだけ短い長さの布地に配置することが要求される。本稿では、VLSI レイアウト設計の研究において近年提案された、矩形パッキングの表現方法である sequence-pair を利用した、自動マーキングシステムを提案し作成する。提案手法を計算機上に作成して実験を行った結果、熟練工の手動配置結果にあと 1.3% に迫る良好な結果が得られた。

Automatic Apparel Marking System using Sequence-Pair

Chikaaki KODAMA, Shogo TAKAHASHI and Kunihiro FUJIYOSHI
Department of Electrical and Electronic Engineering,
Tokyo University of Agriculture & Technology

Abstract Based on the sequence-pair expression, automatic marking system which places the paper pattern of clothes automatically as much as possible density using the Simulated Annealing method is proposed. This system was implemented, and the experimental comparison was carried out. Though it did not reach the result which the skilled craftsman made, it was possible that this system gets a good result.

1 まえがき

「様々な形状の図形を重なりなく、出来るだけ密に配置せよ」というパッキング問題は、VLSI レイアウト設計や自動車の板金の型ぬき等の様々な実用問題の基本であり、なるべく隙間なく配置すればするほど、無駄を減らしてコストを抑えることが可能となる。但し、この問題は形状を矩形に限ったとしても NP 困難であって [2] 図形数の多項式時間では解けない難しいものである。この問題を解く必要は、洋服を作成する際にも、材料であるロール状の布地上に型紙を配置する際に生じる。この場合、生地や模様の向きのために型紙の回転はあまり許されない (180° 回転や鏡面反転が許されることもある)。

アパレル業界では、布地上への型紙配置は「マーキングシステム [1]」と呼ばれる CAD を用いて熟練者が手動で行っていたが、自動で行なうシステムも既に実用化されている。ただ、現状では、自動配置システムよりも手設計の方が密で良い配置が得られるので、手設計に迫る高性能な自動マーキングシステムが望まれている。

ところで、近年 VLSI レイアウト設計の研究において、矩形配置の表現手法として sequence-pair (以下 seq-pair) が提案された。この表現方法に、確率的探索手法である Simulated Annealing 法 (以下 SA 法) を組み合わせて用いることで、許容時間内に矩形を密に配置することが可能であることが知られている。

そこで本稿では、上記の VLSI レイアウト設計技術を応用した自動マーキングシステムを提案し作成する。そして、比較実験結果から、提案システムの性能について検討する。

2 準備

2.1 Sequence-Pair (seq-pair)

seq-pair [2] では矩形の相対位置関係を、矩形名の順列の対 Γ_+, Γ_- により、 (Γ_+, Γ_-) の形で表す。ここで、 $\Gamma_+(i)$ は Γ_+ 中で第 i 番目の矩形を指し、 $\Gamma_+^{-1}(a)$ は Γ_+ 中で矩形 a が何番目にあるかを指す。 Γ_- についても同様である。

seq-pair では矩形の相対位置関係を、以下に示す

「上下左右制約」として表す。 Γ_+ と Γ_- で共に矩形 a が矩形 b の前にあるとき、つまり、 $\Gamma_+^{-1}(a) < \Gamma_+^{-1}(b)$ かつ $\Gamma_-^{-1}(a) < \Gamma_-^{-1}(b)$ であるとき、矩形 a は矩形 b の左に位置する。また、 Γ_+ では矩形 a が矩形 b の前にあり Γ_- では矩形 a が矩形 b の後ろにあるとき、すなわち $\Gamma_+^{-1}(a) < \Gamma_+^{-1}(b)$ かつ $\Gamma_-^{-1}(a) > \Gamma_-^{-1}(b)$ であるとき、矩形 a は矩形 b の上に位置する。例えば、seq-pair (1234;2413) は図1のような相対位置関係を表す。

seq-pair が示唆する上下左右制約を守って各々の矩形をできるだけ左下詰めにしたパッキングは、水平/垂直制約グラフを用いた以下の手順により、矩形数を n として $O(n^2)$ 時間にて求めることができる。具体的には、水平制約グラフは各矩形に点に対応して、その横幅が点の重みとなり、左右制約関係にある全ての矩形対について、左側の矩形に対応する点から右側の矩形に対応する点に有向枝が張られたものに、大ソース点と大シンク点を付加したものである。このグラフにおける大ソース点から各点までの最長パス長が、対応する矩形の左下角 x 座標となる。垂直制約グラフは点重みが矩形の高さで、枝が上下制約関係により張られる以外は水平のと同じである。

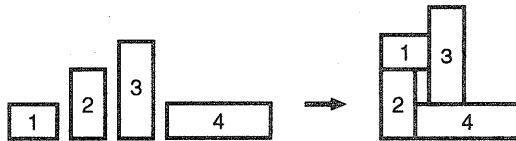


図1: seq-pair (1234;2413) に対応する左下詰めパッキング

2.2 多角形パッキング

矩形だけしか扱えない seq-pair を拡張して、レクトリニア多角形（水平もしくは垂直線分のみからなる多角形）のパッキングを扱う手法 [3] では、各々の多角形を矩形（部分矩形）に分割し、両制約グラフに多角形を復元させる特別な枝を付加することにより、部分矩形数を n とすると $O(n^3)$ で左下詰めパッキングを得ることができる。この手法は後に、点に対応するのを部分矩形でなく多角形にすることにより、多角形数を m として $O(n^2+m^3)$ 時間で左下詰めパッキングを得られる様に改良された [4]。

3 提案手法

3.1 提案する自動マーキングシステムの構成

提案する自動マーキングシステムは、seq-pair と SA 法を用いた多角形パッキングを主処理とし、型紙

を多角形に近似する前処理と復元する後処理を加えた、以下の3段階によって構成される。

前処理: 型紙を矩形の集合に近似

主処理: 近似型紙の配置を seq-pair と SA 法で探索

後処理: 元の型紙に戻し次元コンパクトをかける

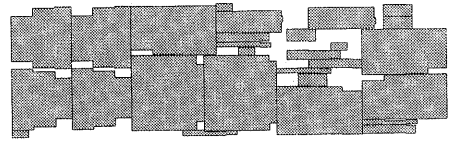


図2(a): 主処理後の例

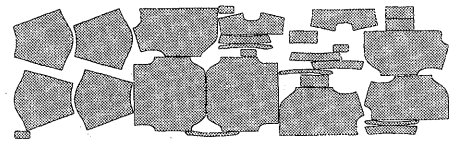


図2(b): 元の型紙変換後例

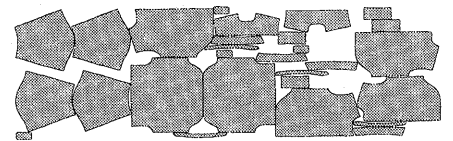


図2(c): 後処理後の例

図2(a) から図2(c) は提案手法の流れの例を示したものである。

3.2 矩形集合近似手法

提案手法の主処理において、seq-pair を用いて型紙の配置を探索するには、型紙は曲線を含む図形なので、これらを矩形の集合（レクトリニア多角形）に近似しなければならない。多数の矩形を用いれば、型紙を忠実に近似できることは明らかであろう。しかし、配置解の評価には $O(n^2+m^3)$ 時間を要し、その上でできるだけ多くの配置解の評価探索が必要である。従って、少ない数の矩形集合で型紙を忠実に近似することが望まれる。

いま矩形集合近似された型紙2つの主処理後で、パッキングA（図3(a-1)）の方がB（図3(b-1)）より密だとする。もし後処理の後、A（図3(a-2)）よりもB（図3(b-2)）の方が密になって逆転してしまうと、時間をたくさんかけて良い解を探索することは無駄なことになる。それゆえ、近似してもパッキングの良し悪しが逆転しないような矩形集合近似が望まれる。

以下に矩形集合近似手法を3つ提案する。なおシステムの都合上、部分矩形の集合には型紙を完全に覆わせることにしている。

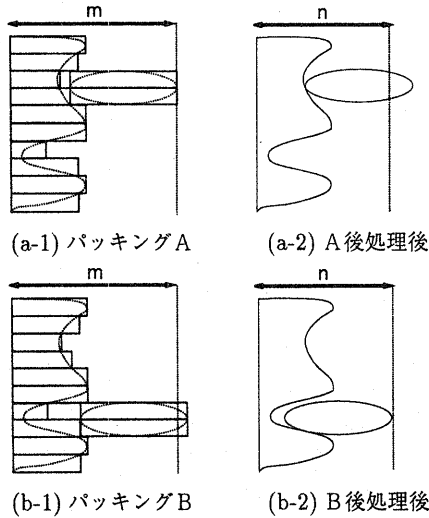


図3: 後処理後に良し悪しが逆転する例
(a-1)と(b-1)でmの幅は同じ (nも同様)

(1) 短冊状矩形集合近似: 型紙(図4)を指定幅で短冊状に矩形近似する(図5)。具体的には、型紙中で最も左の点の x 座標を基準にして、そこから指定幅 d 毎に縦線分で型紙を切り、各々の断片を完全に含む最小面積の長方形にする(図7)。

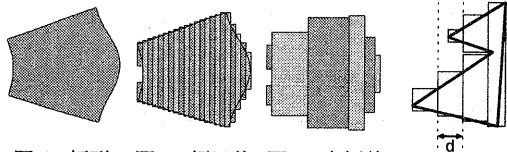


図4: 矩形近似前 図5: 短冊状近似例 図6: 座標差融合例 図7: 短冊状近似方法

(2) 座標差融合手法: まず、短冊状矩形集合近似手法で矩形集合を得る。そして、その中で左にある矩形から順に1つずつ注目し、その右に隣接する矩形と融合条件を満たすか調べる。条件を満たせば融合してそれらを含む最小の矩形とし、注目対象を融合後の矩形とする。図6は図5の短冊状矩形近似例を融合したものである。

[融合条件]: 注目している矩形の上辺の y 座標を y_s 、その右隣にある矩形の上辺の y 座標を y_q とする。また、今注目している矩形がそれまでにいくつかの矩形を融合しているものであるならば、それまでの融合した矩形の中で最も小さい上辺の y 座標を y_p とする。そして、 $\max(|y_q - y_s|, |y_q - y_p|)$ が設定値以下であ

り、同様に下辺の y 座標についても設定値以下であるならば融合する(図8参照)。

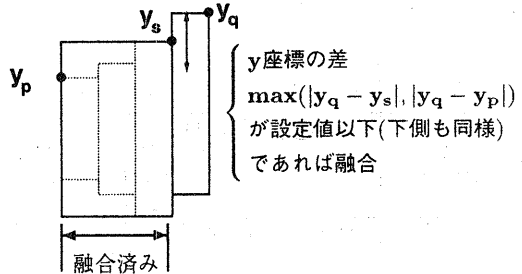


図8: 座標差融合手法

(3) 極大矩形優先近似手法: できるだけ大きな矩形1つ以上を核とした矩形集合で近似する手法である。まず格子の上に型紙をのせ(図9(a))、すべての格子点 A に $\min_B(\max(AとBとのx距離, AとBとのy距離))$ (ただし、 $B \in$ 型紙外の全ての格子点)の値をつける。次に最大の値を持つ点の集合を中心とした、その値によって決められる大きさの矩形を切り出す。そして同様に連続して次に大きな値をもつ点集合を中心にして矩形を切り出していく(図9(b)参照)。

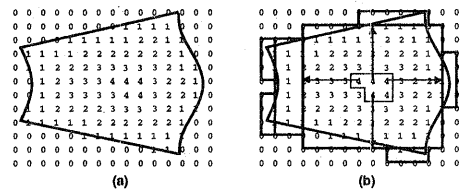


図9: 極大矩形優先近似手法

4 計算機実験

洋服の型紙28枚を、提案する3つの手法でパラメータを変えて3種ずつと、各型紙についてそれを被覆する最小矩形1つにより近似する手法で矩形集合近似し(表1)、SA法の初期温度と終了温度を適当に固定し、それぞれSA法の温度刻みと疑似乱数の種を変えて配置結果を探索比較した。型紙が配置される布地は縦幅が1.13mのロール状である。

SAの隣接解生成法は、 Γ_+ と Γ_- の両方か、どちらか一方で任意の2つの矩形を交換するもの[3]に改良を加えたものである。解の探索で、高さが布地の縦幅を超えた場合は非許容解としている。なお、短冊状矩

形近似する際、垂直線分で切断した方が水平線分で切断するよりも結果が良い傾向にあったので、今回の実験では前者を用いた。

表 1: 各種近似手法で作成した入力データ

矩形近似手法	パラメータ (mm)		総矩形数
(1) 短冊状 矩形集合近似	短冊幅 473		40
	189		80
	120		126
(2) 座標差 融合手法	短冊幅 47.3	座標差 118	41
	47.3	28.4	79
	47.3	9.47	125
	格子間隔 16.5		41
(3) 極大矩形 優先近似手法	11.8		79
	4.73		112
			28
(4) 1型紙 1矩形近似			28

4.1 実験結果

後処理後の結果から、各近似手法の中で最も良かったものの結果を、計算時間を横軸に、必要となる布地長を縦軸にとり図 10 に示す。図中に各近似手法で乱数の種を変えて得られた 5 つの結果の平均を折れ線で示した。

結果では、各近似手法に共通して、矩形数の少ないものが良い結果を出す傾向にあった。最も良い解を出したのは、座標差融合の総矩形数 41 個のものであった。また 1 型紙を 1 矩形とする手法は、平均的には最も安定して結果が良かった。これらのことから、矩形数の多いものは SA 法探索に十分な時間をかけていないために矩形数の少ないものより劣ってしまったと考えられる。また、初期解に依存した結果を出す傾向にあるため、SA 法で用いる解空間が提案手法に適していないのではないかと考えられる。

提案システムにより得られた最も良い解 (図 12) を図 11 の熟練技術者が手設計で作った配置結果 (横の長さは 3.273m、必要となる布地の面積に対する型紙総面積の占有率は 80.9%) と比較すると、横幅が 1.3% 長かった。

5 まとめ

seq-pair 表現と SA 法探索による多角形パッキングを利用した、3 段階からなる服飾用自動マーキングシステムを提案し、作成して比較実験を行った。最も良い結果は熟練工の手設計による配置結果より横幅が 1.3% 長いだけであった。しかし、総矩形数が多いも

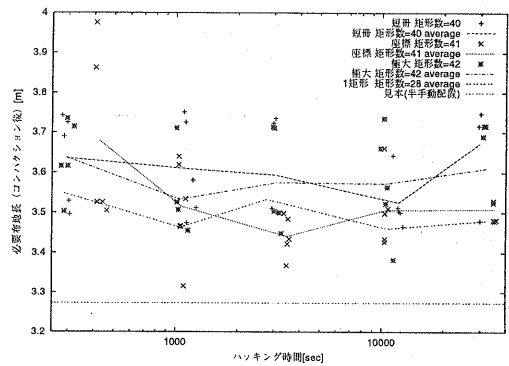


図 10: 実験結果

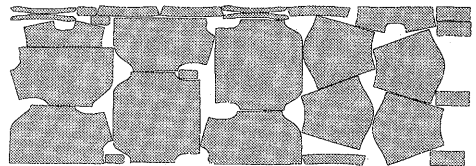


図 11: 熟練工の手動による配置結果

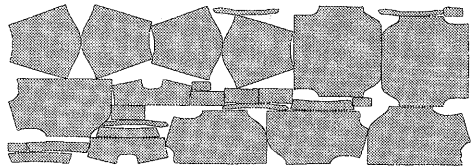


図 12: 座標差融合手法 (矩形数 41 個) の配置結果

のはあまり良い結果を得られなかったことから、今回の実験では SA 法の探索時間が十分でなく、また、探索した解空間が必ずしも適していなかったと考えられる。今後の課題としては、新たな解空間の提案により、より密な配置結果を高速に得られるようにすることなどが挙げられる。

参考文献

- [1] 東レ株式会社, アパレル CAD システム「パトリエ」カタログ.
- [2] H. Murata, K. Fujiyoshi, S Nakatake, and Y. Kajitani: "VLSI Module Placement Based on Rectangle-Packing by Sequence-Pair", IEEE Trans. CAD, 15, 12, pp.1518-1524 (1996).
- [3] K. Fujiyoshi, and H. Murata: "Arbitrary Convex and Concave Rectilinear Block Packing Using Sequence-Pair", IEEE Trans. CAD, 19, 2, pp.224-233 (2000).
- [4] 町田憲, 藤吉邦洋: "複雑な形状のレクトリニア多角形パッキングの高速化", 2000 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 発表予定.