

Sequence-Pair を利用した服飾用コンパクタ

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できるだけ短い布地に配置することを、アパレル業界では「マーキング」と呼ぶ。近年提案された自動マーキングシステムの最終段では、配置した型紙集合を一次元コンパクタで横方向に詰めるが、型紙が左右に接し合うとそれ以上詰めることが出来ない。そこで本稿では、矩形パッキングの表現方法である sequence-pair を利用し、型紙と型紙が左右に接している「断層」をずらす様に型紙を斜め上下方向に滑り込ませ、より密に詰めるコンパクタを提案する。また、ずらすことで布地の長さが短くなる断層の集合を効率良く列挙するため、その集合をパスに対応させた圧縮グラフを提案する。

Compactor for the Marking System using Sequence-Pair

Shogo TAKAHASHI and Kunihiro FUJIYOSHI

Department of Electrical and Electronic Engineering,
Tokyo University of Agriculture & Technology

Abstract Automatic marking system which places the paper pattern of clothes automatically as much as possible density using the Simulated Annealing method has been proposed. In this paper, we propose a compactor using sequence-pair which can be used in the marking system. In the compactor, compression graph, which is proposed in this paper, to list candidates of the set of slipping points efficiently is used.

1 まえがき

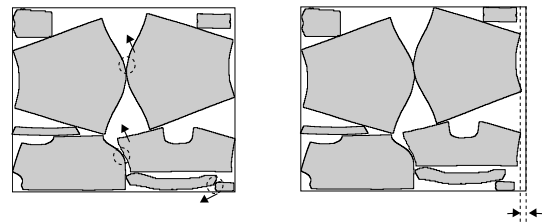
与えられた洋服の型紙を布地に配置することを、アパレル業界では「マーキング」と呼ぶ。マーキングでは、生地や模様の向きのために型紙の回転はあまり許されない。通常、布地は高さが一定で横に長いので、材料コストを下げるためにできるだけ短い長さの布地に型紙を配置することが要求される。

近年、矩形パッキングの表現方法である sequence-pair (以下 seq-pair) を利用した自動マーキングシステムが提案された [2]。このシステムは seq-pair 表現されたレクトリニア多角形 (矩形の集合) パッキングの SA 法探索を主処理とし、型紙を矩形集合に近似する前処理と元の型紙に復元し 1 次元コンパクタで詰める後処理の 3 段階からなっている。この後処理では横方向にのみ詰めるので、型紙が左右に接し合うとそれ以上詰めることが出来ない。

そこで本稿では、この後処理用コンパクタを改良し、与えられた型紙配置において左右に接している型紙の一方を斜め上下方向に滑り込ませることにより、型紙をより密に詰めるコンパクタを提案する。

型紙の一部の矩形同士が、その矩形と型紙配置の外周矩形の左右辺が接しあっている部分をいう。

断層はずらせるものとずらせないものがあり、ずらせる場合はその方向が 2 通りあるため、これを分類し各々に対し seq-pair を用いたずらし手法を述べる。



(a) 断層をずらす前 (b) 断層をずらした後

図 1: 型紙配置例

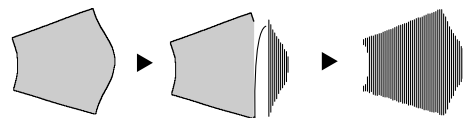


図 2: 型紙の、千切りによる矩形集合近似

2 型紙配置の断層ずらし手法

与えられた型紙配置について、型紙と型紙が左右に接している「断層」(図 1(a) の点線で囲まれた箇所) をずらすように型紙対を滑らせて詰めるコンパクタを考える。

提案するコンパクタでは、各型紙を図 2 の様に垂直線分で千切りにして、十分に細くした矩形の集合に近似したものを入力としており、「断層」とは、異なる

2.1 断層の分類

図 3(a), (b), (e), (f) の様に 2 つの矩形集合 $\{a_1, a_2, \dots\}$, $\{b_1, b_2, \dots\}$ 各々の矩形 a_i と b_j が、左右に接して布地に配置されている。 a_i の右側にある b_j を a_i の下側、あるいは上側に滑り込ませると (c),(d) の様に布地の長さが短くなる。しかし、(e),(f) の場合は一時的に布地の長さを増やさないと、 b_j を a_i の上下どちら側にも滑り込ませることが

出来ない（本稿では滑り込ませる対象としない）。この様に断層の矩形対の位置関係等によってずらせる可能性の有無や、ずらせる方向に違いがある。 b_j を a_i の下側に滑り込ませてずらす断層を「左下型」（図 3(a)）、 a_i の上側に滑り込ませてずらす断層を「左上型」（図 3(b)）、ずらすことができない断層を「垂直型」（図 3(e),(f)）と呼ぶことにする。

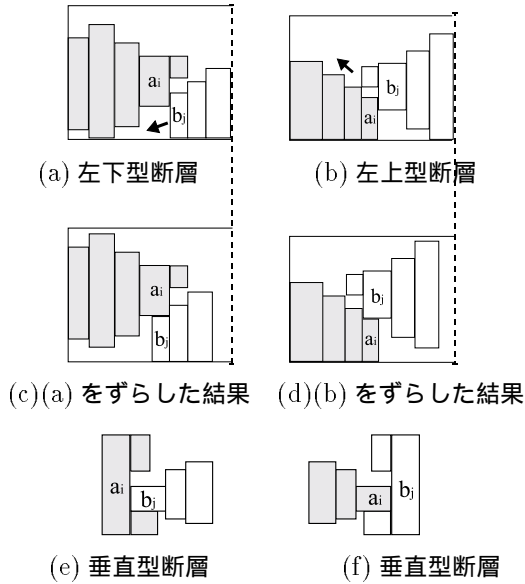


図 3: 断層の分類と滑り込ませた結果

以下に、接している矩形対 a_i と b_j の上下辺の y 座標の大小関係によって断層を分類する。なお、矩形 r の上辺 y 座標を $y_t(r)$ 、下辺 y 座標を $y_b(r)$ 、左辺 x 座標を $x_l(r)$ 、右辺 x 座標を $x_r(r)$ と表記する。

- $y_t(a) > y_t(b)$ かつ $y_b(a) > y_b(b)$ (図 4(a)) の場合
→ 左下型
- $y_t(a) \leq y_t(b)$ かつ $y_b(a) \leq y_b(b)$ (図 4(b)) の場合
→ 左上型
- $y_t(a) > y_t(b)$ かつ $y_b(a) \leq y_b(b)$ (図 4(c)) の場合
 a_i と同じ矩形集合の矩形で、 a_i の右側に接するもの集合 A_i^r と、 b_j との位置関係により分かれる。
 - A_i^r の要素が b_j の上側のみにある → 左下型
 - A_i^r の要素が b_j の上下両側にある → 垂直型
 - その他の場合 → 左上型
- $y_t(a) \leq y_t(b)$ かつ $y_b(a) > y_b(b)$ (図 4(d)) の場合
 b_j と同じ矩形集合の矩形で、 b_j の左側に接するもの集合 B_j^l と、 a_i との位置関係により分かれる。
 - B_j^l の要素が a_i の上側のみにある → 左上型
 - B_j^l の要素が a_i の上下両側にある → 垂直型
 - その他の場合 → 左下型

2.2 Sequence-Pair (seq-pair)[1]

矩形パッキングの表現方法である seq-pair を用いて矩形集合配置を表現し、これを変更して断層をずらす。

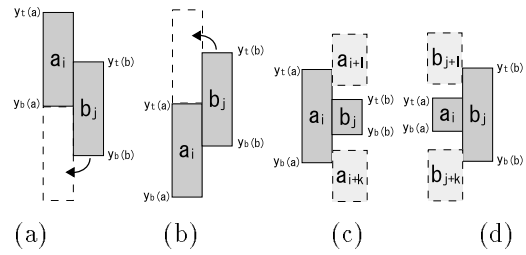


図 4: 断層の分類方法

seq-pair は矩形の相対位置関係を、矩形名の順列 Γ_+ と Γ_- の対により、 $(\Gamma_+; \Gamma_-)$ の形で表す。その特徴は、どんな矩形パッキングも表現することができ、どの seq-pair にも対応する配置が存在することである。seq-pair における a と b の位置関係は、矩形 a と矩形 b の相対位置関係と以下のように対応する。

$$\begin{cases} \Gamma_+ \text{と} \Gamma_- \text{で} a \text{が} b \text{の前} & \Leftrightarrow \text{矩形} a \text{は矩形} b \text{の左} \\ \Gamma_+ \text{で} a \text{は} b \text{の前、} \Gamma_- \text{で} a \text{は} b \text{の後} & \Leftrightarrow \text{矩形} a \text{は矩形} b \text{の上} \end{cases}$$

[4] では seq-pair を拡張して、凹凸のあるレクトリニア多角形のパッキングを表現する手法が提案されている。各多角形は水平/垂直線分で切断されて矩形の集合として扱われ、一つの seq-pair からそれに基づいたパッキングを $O(n^3)$ 時間 (n : 矩形数) で求めることができるアルゴリズムが提案され、これは後に $O(n^2 + m^3)$ 時間 (n : 矩形数, m : 多角形数) に高速化された [3]。本稿ではこの手法を利用する。

2.3 左上、左下 Gridding

gridding とは与えられたパッキングから、これを表現する seq-pair を求めることである [1]。一般に、パッキングは 1 つの seq-pair に対応するとは限らず、例えば図 5 の配置は seq-pair で $(ab; ab)$ と $(ab; ba)$ と表現できる。この多様性を利用し、対応する seq-pair の中で断層がずらし易いものを用いるため、左上型断層には「左上 gridding」、左下型断層には「左下 gridding」を提案する。

左上 gridding とは、矩形を点とし、有向枝 (a, b) が存在することの必要十分条件を

$$\begin{cases} (x_r(b) > x_l(a) \text{ かつ } y_b(b) < y_t(a)) \text{ もしくは} \\ (x_r(b) = x_l(a) \text{ かつ } y_t(b) \leq y_b(a)) \end{cases}$$

とし、「 Γ_+ の制限グラフ」を作る。そして、その枝向きに逆らわないという条件の下で、対応する矩形の y 座標が大きい点を優先して矩形名を読みだしたものを Γ_+ とする。また、 Γ_- は制限グラフの枝の有無の必要十分条件を以下として同様に作る。

$$\begin{cases} (x_r(b) > x_l(a) \text{ かつ } y_t(b) > y_b(a)) \text{ もしくは} \\ (x_r(b) = x_l(a) \text{ かつ } y_b(b) \geq y_t(a)) \end{cases}$$

左下 gridding の左上 gridding との違いは、同じ制限グラフに対して、対応する矩形の y 座標が小さい点を優先することだけである。

2.4 提案 gridding を用いた型紙ずらし手法

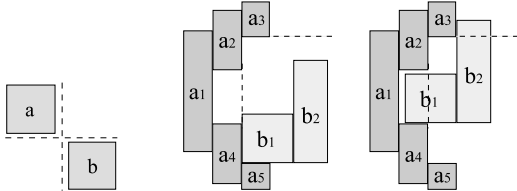


図 5: 2 つの seq-pair (a) ずらす前 (b) ずらし後
図 6: 左上型を断層ずらし例

左右に接する矩形 a_i と b_j が左上型断層なら、左上 gridding で得た seq-pair の Γ_+ 上で隣接する a_i と b_j を交換する。 a_i と b_j が左下型断層なら、左下 gridding で得た seq-pair の Γ_- 上で隣接する a_i と b_j を交換する。この様にして得られる seq-pair は断層がずれたものに対応する。

例えば、矩形 a_4 と b_1 が左上型断層をなしている図 6(a) の配置に対し、左上 gridding で求めた seq-pair は $(a_1 a_2 a_3 a_4 b_1 b_2 a_5; a_1 a_4 a_5 b_1 a_2 a_3 b_2)$ になる。この Γ_+ 上では a_4 と b_1 が隣接しており、これらを交換すると $(a_1 a_2 a_3 b_1 a_4 b_2 a_5; a_1 a_4 a_5 b_1 a_2 a_3 b_2)$ となり、これに基づいた左下詰めパッキングは横幅の長さの短くなった図 6(b) となる。

もし、図 6(a) の配置に左下 gridding を適用すると $(a_1 a_2 a_3 a_4 b_1 a_5 b_2; a_1 a_4 a_5 b_1 a_2 b_2 a_3)$ が求まり Γ_+ で隣接する a_4 と b_1 を交換すると $(a_1 a_2 a_3 b_1 a_4 a_5 b_2; a_1 a_4 a_5 b_1 a_2 b_2 a_3)$ となる。しかし、 a_3 と b_2 には上下制約があるため、図 6(b) の様に b_1 を a_4 の上側に滑り込ませることはできない。この例から分かるように、左上 / 左下 gridding は左上 / 左下型断層だけに対応する seq-pair を求める。

3 断層探索手法

型紙配置には多くの断層が存在するが、そのいくつかを適当にずらしても布地が短くなるとは限らない。このためには、矩形集合に近似された型紙配置から水平制約グラフ（本稿では 1 次元コンパクト用を指す）を抽出し、その全ての最長パスの長さを短くする断層集合をずらせばよい。しかし、断層集合によっては、ずらすことで布地の高さ制限を超えてしまうかもしれない。よって、高さ制限を超えず布地を短くする断層集合を探す必要がある。そこで、布地を短くする断層集合の候補を次々と求める方法を提案する。

3.1 圧縮グラフ

布地を短くするための断層集合を次々と得るため、断層を枝に対応させた圧縮グラフを以下に定義する。

圧縮グラフ作成法

まず、矩形集合の配置の水平制約グラフ G_h （1 次元コンパクト用）を求め、その最長パス上の枝のみを残した部分グラフ G'_h を作る。 G'_h は平面グラフであり、その上にある枝は断層に対応するもの（断層枝と呼ぶ）と、それ以外に分けられる。 G'_h からその 2 端子双対の様なグラフ G_{h^*} を、各 face を点とし、断層枝だけについてその両側の face に対応する点間を結ぶ有向枝を以下の様に張って作成する。

- 左上型、左下型の断層枝について、左の face に対応する点から右の点に向けて重み 1 の枝を張る
- 全ての断層枝について、右の face に対応する点から左の点に向けて重み 0 の枝を張る

これにより、 G_{h^*} の source から sink へのパス R_i は G'_h の source から sink への最長パス全てを一回以上カットするので、 R_i 上の枝で重み 1 なものは布地を短くするためにずらす断層に対応し、 R_i の重み和はずらす断層数に一致する。

圧縮グラフ G_{h^*} からパスを次々と求めるのには M shortest path 手法 [5] を用いる。これは $O(Mn^3)$ 時間 (n : 点数) で M 番目に短いパスを求められる。

4 提案する服飾用コンパクトの全体の流れ

各型紙を矩形集合に近似した配置を入力とし、それに基づいて圧縮グラフを作成する。そして、布地を短くする断層集合を次々と求め、これを提案 gridding 手法を利用してずらしてみ、高さ制限を超えないなら採用し布地を短くする。詳しくは以下の様になる。

型紙コンパクトアルゴリズム

入出力：矩形集合に近似された型紙配置 P

```

for(;;){
  P から圧縮グラフ  $G_{h^*}$  を作成する;
  左上 gridding で P から seq-pair  $S_+$  を得る;
  for(i=1;;i++){
    if(圧縮グラフ  $G_{h^*}$  の source から sink に至るパスのうち、 $i$  番目に短いパス  $R_i$  が存在する){
       $R_i$  上の枝の中で左上型断層のもの全てについて、 $S_+$  の  $\Gamma_+$  上で交換した seq-pair を  $S'_+$  とする;
      if( $S'_+$  は非許容 seq-pair)
        continue;
       $S'_+$  から型紙配置  $P_+$  を求める;
      左下 gridding で  $P_+$  から seq-pair  $S_-$  を得る;
       $R_i$  上の枝の中で左下型断層のもの全てについて、 $S_-$  の  $\Gamma_-$  上で交換した seq-pair を  $S'_-$  とする;
      if( $S'_-$  は許容 seq-pair){
         $S'_-$  から型紙配置  $P_-$  を求める;
        if( $P_-$  は高さ制限内に収まる){
           $P = P_-$ ;
          break;
        }
      }
    }
  }
}
else return 終了;
}

```

}

例として、図 7(a) の配置に対して求めた水平制約グラフ G_h を図 8(a)、その全ての最長パスの枝のみを残したグラフ G'_h とその圧縮グラフ G_{h^*} を図 8(b) に示す。 G_{h^*} の最短パス (σ, α, τ) に対応する断層集合をずらすため、まず左上 gridding で seq-pair $(c_1 a_1 b_1 b_3 c_2 b_2 c_3 e_1 a_2 d_1 d_2; a_1 a_2 b_1 d_1 b_2 d_2 c_2 b_3 c_1 c_3 e_1)$ を得て、左上型断層の c_3 と e_1 を Γ_+ 上で交換して配置に戻すと図 7(b) になる。次に、これから左下 gridding で seq-pair $(c_1 a_1 b_1 a_2 b_3 e_1 c_2 b_2 c_3 d_1 d_2; a_1 a_2 d_1 b_1 b_2 d_2 c_2 b_3 c_1 c_3 e_1)$ を得て、左下型断層の b_2 と d_2 を Γ_- で交換して配置に戻すと図 7(c) になるが、高さ制限を超えたので採用されない。そこで、次はパス $(\sigma, \alpha, \beta, \gamma, \tau)$ が求められ、左上型断層の c_3 と e_1 、 a_1 と b_1 をずらすと $(c_1 b_1 a_1 b_3 c_2 b_2 e_1 c_3 a_2 d_1 d_2; a_1 a_2 b_1 d_1 b_2 d_2 c_2 b_3 c_1 c_3 e_1)$ となり、配置は図 7(d) となる。この配置は高さ制限内なので、これを採用する。

採用された配置の水平制約グラフを求め、同過程を繰り返し、布地を短くする断層集合がなくなった時点でコンパクションは終了する。

5 まとめ

矩形パッキングの表現方法である sequence-pair を利用して、型紙と型紙が左右に接している断層をずらすように型紙を斜め上下方向に滑り込ませ、より密に詰めるコンパクトを提案した。

謝辞 本研究は CAD21 プロジェクトの一部である。

参考文献

- [1] H.Murata, et al.: "Rectangle-Packing-Based Module Placement", Proc. ICCAD, pp.472-479, 1995.
- [2] 児玉 親亮, et al.: "Sequence-pair 表現を利用した服飾用自動マーキングシステム", 情処研報 数理モデル化と問題解決研究会, 2000-MPS, 31-4, pp.9-12 (2000).
- [3] 町田 憲, 藤吉 邦洋: "複雑なレクトリニア多角形パッキングの高速化", 信学ソ大 (基礎・境界), p.69, 2000.
- [4] K.Fujiyoshi and H.Murata: "Arbitrary Convex and Concave Rectilinear Black Packing using Sequence-Pair", IEEE Trans. CAD, 19, 2, pp.224-233, 2000.
- [5] E.L.Lawler: "Combinatorial Optimization Networks and Matroids", Saunders College Publishing pp.100-102, 1976.

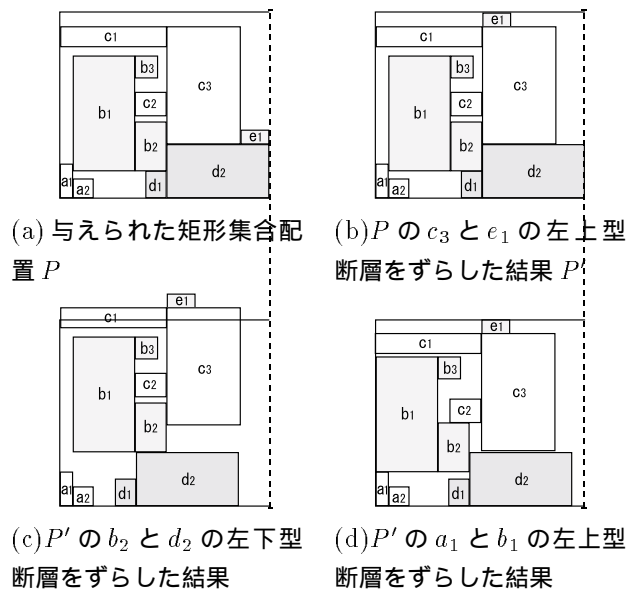
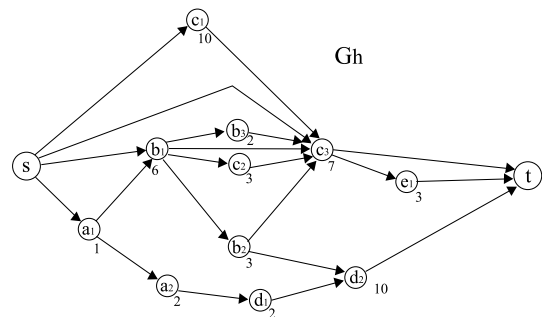
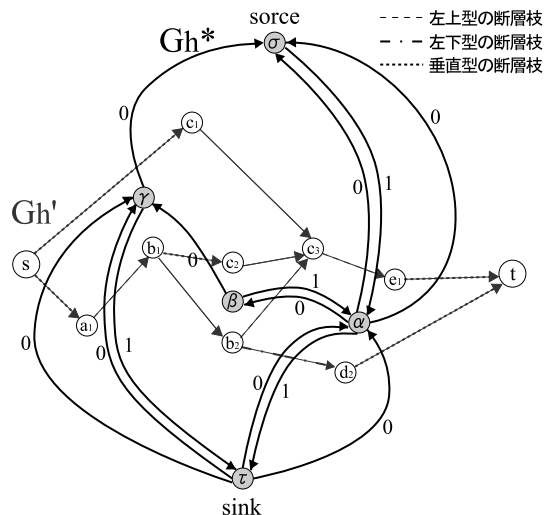


図 7: 型紙コンパクションの実行例



(a) 1 次コンパクション用水平制約グラフ G_h



(b) G_h の最長パスの枝のみを残したグラフ G'_h と圧縮グラフ G_{h^*}

図 8: 図 7 に対応するグラフ