

4Q-4

# 状態遷移グラフを用いた衣類着脱支援のための 布状態推定と着脱モデルの構築

大矢良輔<sup>†</sup> 長濱虎太郎<sup>‡</sup> 山崎公俊<sup>§</sup> 稲葉雅幸<sup>¶</sup>  
 東京大学<sup>†</sup> 東京大学<sup>‡</sup> 東京大学/JST<sup>§</sup> 東京大学<sup>¶</sup>

## 1. はじめに

家庭内で活躍する生活支援ロボットの実現にとって、人と密接な関係にある「布」を操作するタスクは、必要性が高いと考えられる<sup>1)</sup>。本研究の目的は、ズボンのような衣類の着脱をロボットに行わせることを目指し、その際に必要となる視覚機能を実現することである。衣類の着脱においては、ある決められた動作をして着脱支援を行わせるだけでは布が柔軟物であるが故の失敗が起こりやすい。例えば、人の手足が布に引っかかったり、うまく決まった場所に入らないなどである。ロボットには、そういった失敗を認識し、失敗の状況に応じて行動をすることが求められる。

我々は以前、着脱の様子を撮影した画像列から衣類の状態を推定する方法を提案した<sup>2)</sup>。ここでは、Fig. 1 に示すような構成により、データベースに格納された衣類着脱の画像列に対して、入力画像列のマッチングが行われた。衣類の状態を記述するために、入力画像列から布領域内部のオプティカルフローを抽出し、以下の特徴量によりフレーム間の類似性を計算していた。

1. フローの大きさに基づく特徴量:  $F_1$
2. フロー同士の間隔に基づく特徴量:  $F_2$
3. 内部部分的フローに基づく特徴量:  $F_3$

データベースから得たフローと入力画像列から得たフローの類似度は、以下の式を用いて計算した。

$$P_{s_k} = \prod_{i=1}^3 \text{dist}(F_i, F_i^{s_k}) \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1)$$

ここで  $s_k$  は人手によって指定された  $k$  番目の学習データであり、 $P_{s_k}$  はデータ  $s_k$  とのマッチング率を表す。 $F_i^{s_k}$  はデータ  $s_k$  における  $i$  番目の特徴量である。このマッチング率の一番高いものをマッチング結果とする。

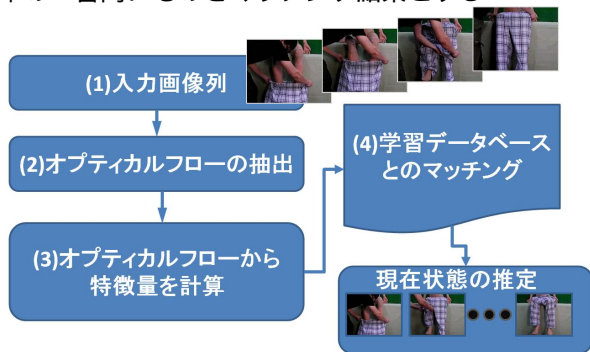


Fig.1 布状態認識システム

これによって、入力した画像列間の布の状態を認識することができた。しかし、布の状態だけを知ることができても、着脱過程のうちの段階にいるのかを知ることができなかった。そこで、本研究では状態遷移のグラフを用いる

Constructing cloth state model using State Transition Diagram for dressing assistance.

<sup>†</sup>Ryosuke Oya, The University of Tokyo.

<sup>‡</sup>Kotaro Nagahama, The University of Tokyo.

<sup>§</sup>Kimitoshi Yamazaki, The University of Tokyo/JST.

<sup>¶</sup>Masayuki Inaba, The University of Tokyo.

ことで、それぞれの状態から遷移しうる布の状態を認識するだけでなく、現在の状態が着脱タスクの過程のうちのどの段階にいるのかを認識する。

## 2. 着脱状態の定義と遷移モデル

### 2-1 衣類着脱状態の定義

衣類の着脱をロボットに行わせるとき、ロボットが認識する必要がある着脱状態は以下にあげられる。

1. 成功しているのか、失敗しているのか (Fig. 2,(A))
2. 成功しているとき、現在どの段階にいるのか
3. 失敗しているとき、どのように失敗しているのか (Fig. 2,(B))

以上の状態を切り分けられるように、あらかじめ着脱状態を定義する。

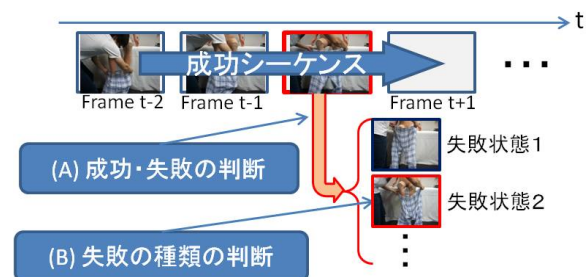


Fig.2 布状態の切り分け

まず、成功状態について、着脱の様子を衣類の持ち替えのタイミングを区切りとして切り分ける。その切り分けたある持ち替えから次の持ち替えまでを、1つの着脱状態として定義する。例えば、ズボンを引き上げる、右足を通す、左足を通す、などである。一方で、着脱の失敗についても、あらかじめ想定される着脱の失敗を画像列として取得し、同様に定義する。失敗状態をいくつかの種類に分けて定義することにより、失敗の判断に用いる。例えば、途中で足がズボンに引っかかってしまう状態や、両足が片側の穴に入ってしまう状態などがある。

### 2-2 状態遷移モデルの定義

従来方法では、あるフレーム間に対してすべてのデータをマッチングさせていたが、これでは時間もかかるうえに、誤検出もあるため非効率である。そこで状態遷移モデルを用いて現在の状態からマッチングすべきデータを絞ることで、マッチング精度を向上させる。これによって効率がよくなるうえに、状態のマッチングから現在の状態が着脱過程のうちのどの段階にいるのかを知ることができる。

ここで用いる遷移モデルは着脱過程を軸に構成する。ズボンを引き上げている過程にいるとき、数ある失敗の状態の中からズボンを引き上げている状態から起こる失敗のみを選別する。現在の状態から次の状態へ遷移させるとき以下の式を用いて評価する。

$$s_t = \max_{s \in S} \{w_{s_k \rightarrow s_p} \cdot P_s\}, S = \{s_1, s_2, \dots, s_q\} \quad (2)$$

ここで  $w_{s_k \rightarrow s_p}$  は現在の状態  $s_k$  から状態  $s_p$  へのノードの重みである。この重みは実験によって経験的に決める。状態  $s_p$  に遷移することがありえない場合  $w_{s_k \rightarrow s_p} = 0$  とする。 $P_s$  はデータ  $s \in S$  とのマッチング率を表す。状態

空間の中ですべての状態と比較し、次の状態  $s_l$  を求める。Fig. 3 に、遷移モデルを用いたマッチングの模式図を示す。通常は上段の成功状態の列 ( $s_{k-1}, s_k, s_{k+1}$ ) で遷移する、各状態は離散的に定義されているため、一つの状態は複数の時刻で共有される。一方で、各時刻において起こりうる失敗の状態ともマッチングも行われ、失敗と判断された場合、その状態 ( $s_{m+1}, s_{m+2}$  等) へ遷移が起こる。

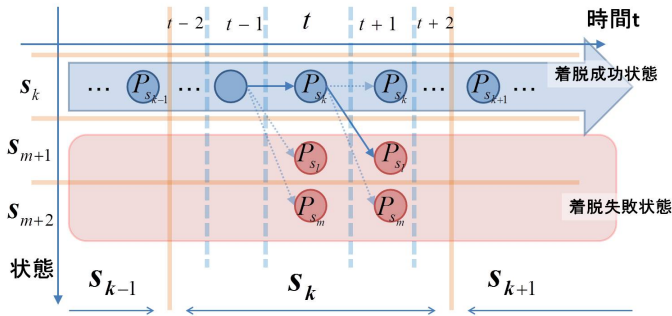


Fig.3 状態遷移モデル

Fig. 4 は、上述したマッチングにおける状態の定義を示したものである。データベースには、着脱が失敗しているのか、成功しているのかを示す状態空間として  $s_{success}$  と  $s_{failure}$  が存在する。着脱が成功している状態空間には着脱の順序を表す状態が含まれる ( $s_1 \dots s_m$ )。それぞれの状態には成功している着脱の過程の画像列が含まれている。失敗の状態空間には布の引っかかりなどの失敗の種類によって分けられた状態が含まれている ( $s_{m+1} \dots s_q$ )。失敗状態の中には、失敗する直前の画像列を学習データとして含まれている。

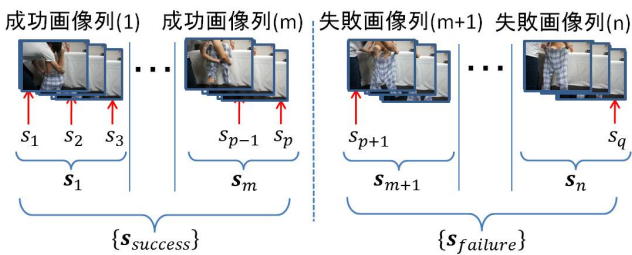


Fig.4 状態の定義

### 3. 認識システムへの状態遷移モデルの導入

状態遷移モデルを実際のシステムの中でどのように導入するかを説明する。

#### 3.1 遷移モデルの解釈

遷移モデルを着脱状態認識で利用するには、現在の着脱段階の把握に加え、遷移可能な状態も把握する必要がある。

現在の着脱段階を把握するために、入力画像列が常に現在の着脱段階にいと仮定する。このとき、認識する必要のあるのは次の着脱段階へ変化するタイミングである。着脱段階は衣類の持ち替えのタイミングを示すので、衣類をはずす直前の布状態を認識すればよい。また、現在段階を知ることができたとき、現在段階に応じてマッチングデータベースを選択する。これによって遷移される状態を選択することができる。

#### 3.2 学習データベースの分割と役割

本システムでは、学習データベースを機能ごとに分割して保持する。

1. 着脱の段階を認識する一つのデータベース
2. 現在の着脱状況に応じて、失敗しうる画像列を選ぶことができるデータベース

画像列を入力すると通常時は成功の画像列とマッチングをし、状態が失敗に移り変わるときに失敗の画像列とマッチングをする。

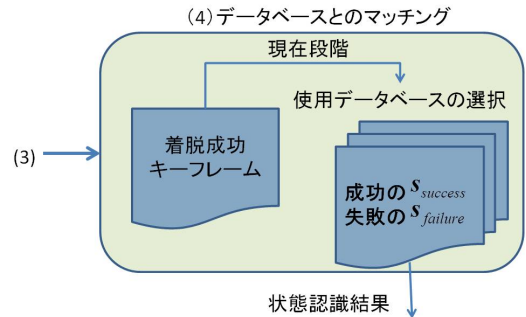


Fig.5 学習データベース構築方法

Fig. 5 にマッチングデータベースの構成を示す。フローから計算した特徴量を用いてそれぞれのデータベースがマッチングを行う。左のデータベースは着脱段階をマッチングし、認識した着脱段階を右のデータベースに送る。右のデータベースは着脱段階に基づいて、使用する失敗状態のデータや成功状態のデータを変更して現在の状態を推定する。

### 4. 状態推定実験の比較

本システムの評価として、人による着脱動作の様子を撮影し、実験を行った。

#### 4.1 実験の概要

人間がマネキンに対してズボンを着せている様子を撮影し、その画像列を入力として、遷移モデルによる今回の方法での状態推定を行った。着脱が成功している画像列を6種類、失敗している画像列を9種類用意した。フレームサイズはVGA (640 × 480 pixel) である。データベースには、着脱成功の画像列を4種類、着脱失敗の画像列を4種類定義した。この画像列に対して適切なマッチング結果が出力されるかどうかを評価した。

#### 4.2 評価実験と考察

以下にマッチング結果の表を示す。

Table 1 布状態認識

		実際の状態	
		成功状態	失敗状態
マッチング結果	成功状態	0.67	0
	失敗状態	0.33	1

この結果、状態推定が成功していたのは15の画像列のうち11種類で、成功率は73%となった。また、上記の表より偽陽性率・偽陰性率を計算すると、偽陽性率は0%、偽陰性率が33%であった。

### 5. おわりに

本研究では状態遷移モデルを用いて着脱の一連の流れをモデル化した。これによって従来では推定できなかった、現在の着脱段階を知ることができた。また、段階を知ることによって、使用するデータベースを選択することができ、現在状態をより効率よく推定することに成功した。

#### 参考文献

- 1) 萩原 義裕, 萩原 由香里. 「トイレにおける衣服着脱支援システム開発の試み」. バイオメカニズム学会誌, Vol. 32, No. 4, pp. 215-220, 2008.
- 2) 大矢 良輔, 長濱 虎太郎, 山崎 公俊, 稲葉 雅幸. 衣類着脱支援のための布内部領域の動的変化を用いた状態マッチング. 第12回SICEシステムインテグレーション部門講演会講演概要集, pp. 2N2-4, 12 2011.