

触覚センサを用いた触行動の識別に関する研究(第2報)

平湯 秀和 向井 利春*

Discrimination of Touching Behaviors with Tactile Sensor (2nd report)

Hidekazu HIRAYU Toshiharu MUKAI*

あらまし 触行動は他者へ最も直接的に好意や親密さを伝えることができる行為であり、人とロボット間のコミュニケーション手段の一つである。人間と接触をしながらサービスを提供する人間共存ロボットにとって、人の触行動を識別することは重要な課題の一つである。本研究では、(独)理化学研究所バイオ・ミメティックコントロール研究センターが開発した人間の皮膚構造と同じ構造を持つ柔軟な面状触覚センサを用いて、ロボットと人が接触してコミュニケーションを行う上で基本的な触行動の識別を行う。本稿では、ロボットの上腕部のような曲面に搭載することが可能で、かつサンプルレートが1kHzでデータ取得可能な触覚センサを用いて、6種類の触行動を識別したので報告する。

キーワード 人間共存ロボット、面状触覚センサ、触行動識別

1. はじめに

日本における老年人口割合は2035年には約3人に1人と予想され、ますます、少子高齢者社会へと進んでいる。このような少子高齢化社会においては、労働者不足や被介護者の増加といった問題が予測されるが、その解決策として、人と接しながら各種サービスを提供可能な人間共存ロボットが期待され、その開発も進んでいる。その一つに、独立行政法人理化学研究所が開発した移乗介護支援ロボットRI-MANがある^[1]。RI-MANは左右前腕・上腕・胴体部分に触覚センサを搭載することで、安全に移乗介護を行うことが可能なロボットである。この触覚センサを通して、人がロボットに対して行った触行動を理解することができれば、ロボットと人のインタラクションはより良くなることが期待される。

従って、ロボットが触覚センサの情報から人の触行動を認識することは重要な研究課題であるが、未だに実用化された例は少ない。その理由としては、現在のセンサデバイスはサンプルレートが数十～100Hzと低いため、安定した触行動識別結果が得られない等の問題があるためである。この問題を解決するため、理化学研究所では半導体圧力センサを感圧素子として弾性体に埋め込む方法を基にした面状触覚センサを開発した。本研究では、昨年度、この面状触覚センサを用いて、「たたく」「つまむ」「なでる」「押す」の4種類の触行動の識別に関する研究を行った^[2]。その結果、4種類の触行動はほぼ識別できたので、より実用に即して識別すべき触行動数を増やす

ことが課題であった。サンプリング周期が短くなれば、センサに対して行った触行動の圧力データがより詳細に取得できるため、より多くの触行動が識別可能になると思われる。従って、今年度は、サンプルレートが1kHzでデータ取得ができるように改良されたセンサを用いて、さらに、「つかむ」「ひっかく」の計6種類の触行動を識別する研究を実施した。

2. 触覚センサの改良

人間共存ロボットRI-MANに搭載した触覚センサは、半導体圧力センサを感圧素子としている。感圧素子は、フジクラ製FPBS-04Aである。これは 5.8mmで、42.6～434.7kPaの絶対圧が測定可能な圧力センサである。この圧力センサを8×8の18mmピッチでアレイ状に配置し、弾性体に組み込むことで面状触覚センサを実現している。

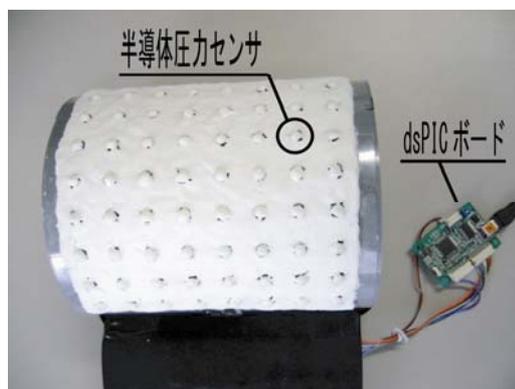


図1 面状触覚センサと汎用dsPICボード

* 独立行政法人 理化学研究所

今年度はセンサの測定回路を分圧回路からブリッジ回路に変更したため、昨年度より圧力の感度が高くなった。

更に、汎用のdsPICボードを新たに開発することで、サンプルレートが1kHzになった^[3]。図1に実験で使用した面状触覚センサおよび汎用dsPICボードを示す。

3. 触行動識別

3.1節では、本研究で対象とした触行動の選定方法や面状触覚センサから得られる時系列データを基にした特徴量抽出手法に関して述べる。更に、3.2節では得られた特徴量を基に触行動を識別する手法に関して述べる。

3.1 対象とする触行動

社会心理学において、人の接触行為に関する基本的な上肢動作は12種類に分類されることが知られている^[4]。本研究では、12種類の触行動の中で、「たたく」と「こつこつたたく」、および「押す」と「さわる」は、人がロボットに対して行う行動として、ほぼ同じであると見なし、「たたく」「押す」と定義する。そこで、10種類の触行動の中で、昨年度は、4種類（「たたく」「つまむ」「なでる」「押す」）の触行動の識別を行った。今年度は、より現実に即して、人がロボットに対して行う触行動として更に「ひっかく」「つかむ」を加えた6種類の触行動の識別に関する研究を実施した（表1）。

3.2 触行動識別のための特徴量および推定方法

本研究では、面状触覚センサから得られるデータから、人が面状触覚センサに触れて動作を開始した時刻とセンサから手が離れる終了時刻を推定し、その期間（触行動時間）の時系列データから複数の特徴量を抽出する。次に、それらの特徴量を線形判別分析することで触行動の識別を行う。

特徴量に関して、RI-MAN内部の超小型汎用コントローラに組み込むことを想定し、簡単な計算処理で得られ

る特徴量を用いる。そこで、触覚センサから得られる時系列データ、圧力位置や圧力のかかった領域面積の変化量、圧力の時間的変化量の3つの観点に着目し、昨年度と同様に9個の特徴量を選定した^[5]。

特徴量を基にした触行動推定手法に関しては、「たたく」「なでる」といった一つ一つをクラスとして定義し、クラス内分散を最小に、クラス間分散を最大にするような最適な判別空間を生成し識別する線形判別分析を行った。本手法では、9個の特徴量は線形判別分析で得た写像行列から判別空間上のある1点に投影されるので、各クラス（たたく、つまむ、つかむ、なでる、ひっかく、押す）の中心から投影点までの距離（マハラノビス距離）を求め、クラスと投影点間の距離が最小となる触行動を識別結果とする。

4. 実験と考察

本手法の有効性を検証するため、実験を行った。7人の被験者が「たたく」「つまむ」「つかむ」「なでる」「ひっかく」「押す」の6動作をそれぞれ2回実施（14データ/1つの触行動）した。集めたデータ量が少ないため、交差検証法を用いて、触行動識別の実験を行った。具体的には、一つの触行動に対して14個のデータがあるため、13個をトレーニングデータとして、各触行動に対して前章の特徴量を抽出した。これらの特徴量からクラス分けするのに最適な判別空間を生成し、残りの1個のデータをテストデータとして、触行動識別の実験をした。

表2にトレーニングデータにおける識別結果を、表3、表4にテストデータにおける識別結果を示す。

トレーニングデータによる触行動識別率は、「たたく」「つまむ」「押す」動作は90%以上で、判別空間がほぼ良好に生成されていることがわかる。しかし、「つかむ」「ひっかく」動作は良い識別結果が得られなかった。

一方、テストデータによる識別結果は、「たたく」「押す」動作の識別率は90%以上であるが、トレーニングデータで良好な判別空間が生成されなかった「つかむ」動作は約57%となり、この触行動に関しては、9個の特徴量は他のクラスとの識別には有意に寄与していないことがわかった。

表1 対象とする触行動

	社会心理学による分類	本研究による分類	昨年度実施	今年度実施
1	たたく	たたく		
2	こつこつたたく			
3	つまむ	つまむ		
4	つかむ	つかむ		
5	なでる	なでる		
6	ひっかく	ひっかく		
7	押す	押す		
8	さわる			
9	引っ張る	引っ張る		
10	回転	回転		
11	支える	支える		
12	止める	止める		

表2 トレーニングデータによる触行動識別結果

触行動	データ数 (13 × 14)	正解数 (13 × 14)	識別率[%]
たたく	182	182	100.0
つまむ	182	168	92.3
つかむ	182	130	71.4
なでる	182	155	85.2
ひっかく	182	135	74.2
押す	182	172	94.5

表3 テストデータによる触行動識別結果

触行動	データ数	正解数	識別率[%]
たたく	14	14	100.0
つまむ	14	12	85.7
つかむ	14	8	57.1
なでる	14	12	85.7
ひっかく	14	10	71.4
押す	14	13	92.9

表4 触行動別に分類したテストデータの識別結果

触行動	識別率[%]					
	たたく	つまむ	つかむ	なでる	ひっかく	押す
たたく	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
つまむ	0.0	85.8	7.1	7.1	0.0	0.0
つかむ	0.0	14.3	57.1	14.3	0.0	14.3
なでる	0.0	0.0	0.0	85.7	14.3	0.0
ひっかく	0.0	0.0	14.3	7.1	71.5	7.1
押す	0.0	0.0	0.0	7.1	0.0	92.9

「つかむ」という触行動は、面状触覚センサを手で包み込む動作となるため、親指とその他の指の部分に力が加わる。そのため、2つの圧力のかかる領域が存在するため、「つまむ」と誤識別した例があった。更に、親指とその他の指にかかる力加減によっては、センサ全体における力のかかる重心が移動してしまうため、「なでる」と誤識別した例もあった。また、「なでる」という触行動と「ひっかく」という触行動は、指に加える力加減は異なるが、共にセンサ上を移動させる行為であるため、両者間で誤識別する例もあった。

6個の触行動のクラス判別において、9個の特徴量の寄与率に関する検定を行った。本研究では、クラス判別を表す一つの指標である Wilks の 検定を用いた。9個の特徴量に関して F 検定を求めた結果を表5に示す。

本研究では6クラス、9変量、78パターン(1動作に対して13個のトレーニングデータを6動作分)を用いて判別空間を生成したため、自由度(5, 64)の F 分布に従う。ここで、 $F_{64}^{5}(0.05)$ は2.36である(5%水準で有意である)。表5の F 値が、2.36よりも大きい値であれば、その特徴量は判別に有意に寄与しているといえる。従って、表5からは9個の特徴量の中で2つを除き、他の特徴量はすべて判別に有意に寄与していることがわかる。

5. まとめ

今年度、(独)理化学研究所がサンプルレートを高めることを目的に改良した面状触覚センサを用いて、センサから得られる時系列データを基に9個の特徴量を抽出し、これらを基に線形判別分析を行うことで、「たたく」「つ

表5 9個の特徴量に関するF検定結果

	特徴量	F値
	触行動時間	2.14
	最大の圧力がかかるまでの時間	4.12
	触行動時間全体における圧力のかかった重心位置と、各サンプルで求めた重心位置との距離平均	3.50
	触行動時間全体における圧力のかかった重心位置と、各サンプルで求めた重心位置との距離の分散	4.60
	各サンプルにおいて、圧力のかかった領域面積に対する平均値	1.24
	各サンプルにおいて、圧力のかかった領域(グループ)の個数に対する平均値	4.39
	動作開始後、10ms 時点における圧力データ	5.67
	触行動時間を3等分し、1番目の時間帯(A領域)での圧力の(最大値 - 最小値)	14.79
	触行動時間を3等分し、3番目の時間帯(C領域)での圧力の(最大値 - 最小値)	16.38

まむ」「つかむ」「なでる」「ひっかく」「押す」の6種類の触行動の識別を行った。その結果、「たたく」「押す」といった触行動の識別は良好な結果を得たが、今回使用した9個の特徴量は「つまむ」と「つかむ」、「なでる」と「ひっかく」の触行動に対して、誤識別した例があった。

今後の課題としては、触行動を識別するのにより有効な特徴量の選定および実際にRI-MAN内部の超小型汎用コントローラへ組み込むことがあげられる。また、今回対象としなかった4種類の触行動(「引っ張る」「回転」「支える」「止める」)に関して、例えば、「引っ張る」動作に関してはせん断力を求める必要があり、本センサでは計測が困難なため、これらの触行動を識別するには更なるセンサの開発が必要である。

文 献

- [1] T. Odashima et al., "A Soft Human-Interactive Robot RI-MAN", IROS2006, Video ID: v018, 2006.
- [2] 平湯秀和, 向井利春, "触覚センサを用いた触行動の識別に関する研究", SICE SI2006 講演論文集, pp.1172-1173, 2006.
- [3] 向井利春, 加藤陽, "ロボットに柔らかさを与える1ms柔軟面状触覚センサ", ROBOMEC2007 講演論文集, pp.53-54, 2007.
- [4] ペーター・E.ブル, 市河淳章ら(編訳),"姿勢としぐさの心理学", 北大路書房, 2001.
- [5] 平湯秀和, 向井利春, "触覚センサを用いた触行動の識別に関する研究", 岐阜県生産情報研究所研究報告第8号, pp.20-23, 2007.