

遠赤外線画像の熱痕跡を用いた接触履歴の検出と把持形態推定への応用

○ 稲田 大亮 (九州大学), 辻 徳生 (九州大学), 原田 研介 (産総研),
田原 健二 (九州大学), 河村 晃宏 (九州大学), 諸岡 健一 (九州大学), 倉爪 亮 (九州大学)

Detection of contact region using thermal signature of the far-infrared image and Application to grasp type estimation

○ Daisuke INADA (Kyushu University), Tokuo TSUJI (Kyushu University), Kensuke HARADA (AIST),
Kenji TAHARA (Kyushu University), Akihiro KAWAMURA (Kyushu University),
Ken'ichi MOROOKA (Kyushu University), Ryo KURAZUME (Kyushu University)

Abstract: We propose a new method for analysing object manipulation by humans using an infrared camera. It is possible to extract the contact regions on the object by observing the thermal signature. we show the experimental results of detection of the contact area and the estimation of grasp types.

1. はじめに

人は、環境や物品と接触しながら様々な作業を行っている。この際の物体と人の接触位置を計測し解析すれば、作業の内容の理解につながる。さらに、他のセンサの情報と統合すると、ロボットへの自動教示に利用できる。

そこで、赤外線カメラ（サーモグラフィ）により人と物体の接触領域を抽出するシステムを開発し、人の物体操作の解析を行う。赤外線カメラを用いると、Fig.1 に示すように、熱痕跡により接触領域を撮影することが可能である。この画像のように、物体が手から離れた後に、手が接触した物体上の領域を抽出する。

また、接触領域の抽出に加えて、それを用いた把持形態の識別を試みる。人間の把持形態を識別することは、人間の行動を分析する際に重要である。把持形態を識別できれば、そこから行動の意図を推定できる。

本論文では、遠赤外線カメラによって取得した把持物体の熱痕跡画像を用いて接触領域の検出と把持形態の推定を行い、実験により提案手法の有効性を確認する。

2. 関連研究

人と物体との接触領域を測定する研究として、素子分散型触覚センサを装着したデータグローブを用いて手と作業対象物体との接触状態を計測する手法 [1][2] が提案されている。薄型触覚センサを手のひらに配置したグローブを装着した状態で把持を行い、手の各部位にかかる圧力から手と作業対象物体との接触状態を計測している。しかし、計測にはグローブを手に着用する必要があり、自然な状態とは言えない。また、接触範囲はセンサの分解能に依存するが、手の形状に合わせて多数の触覚センサや配線を密に配置することは困難である。手に粉や塗料をつけて接触領域を抽出する方法も考えられるが、日常生活での計測には利用できない。本システムでは、人は手に何も装着する必要がなく、自然な状態で作業を行うことができる。

可視光カメラを用いた把持中の接触領域を計測は、人の腕や把持対象物により接触位置が隠蔽されるため、困難である。提案手法では作業後に多方向から観察することが可能であるため、死角を気にする必要がない。

また、可視光画像で撮影された手の形状から把持形態を推

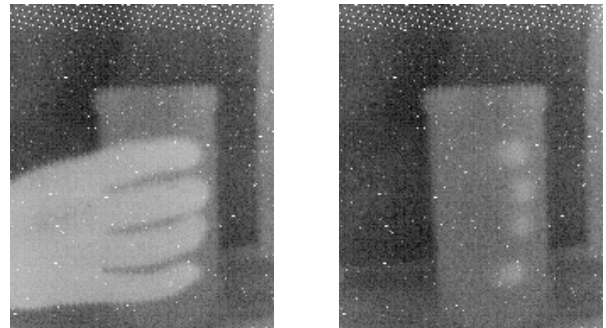


Fig.1 赤外線画像の例

定する研究 [3] が行われている。このように、可視光画像から手の形状は計測できるが、接触領域を正確に測定し、把持形態を推定することは困難である。

人の動作からロボットハンドの動作プログラムを生成する研究 [4] が行われている。これらの研究では、人間の手指の動きから認識した手作業内容に基づき、ロボットハンドの動作プログラムを生成している。本研究で識別された把持形態は、同様にロボットの動作教示に利用する予定である [5]。

3. 接触領域の計測

遠赤外線カメラを用いて非接触で手と物体の接触領域を計測する手法について述べる。まず赤外線カメラで把持後の物体の熱痕跡画像を取得し、その画像から熱痕跡を抽出した画像を作る。

3.1 赤外線カメラによる熱痕跡画像の撮影

机に置いたチップスターの箱 (Fig.2)(円筒形) を人の手でしばらく把持し、手を離す後までの過程を遠赤外線カメラで撮影する。赤外線カメラは seek thermal 社の Seek Compact(Fig.3) を使用した。性能 [6] を Table1 に示す。



Fig.2 チップスターの箱



Fig.3 Seek Compact

解像度	206 × 156
視野角	36°
熱検知範囲	-40 °C ~ 330 °C

Table 1 Seek Compact の性能

3.2 差分画像の取得

「把持する前の物体の画像」と「把持後の熱痕跡が付いた物体の画像」の差分を取ることで、把持による熱痕跡の画像のみを取り出す。物体の位置を他のセンサで計測することにより、物体が移動しても差分の計算は可能である。

4. 把持形態の推定

把持形態 [7] を識別することは人間の行動分析において重要な意味を持つ。例えば、把持形態が、指先で精密に物を掴む“precision grasp”と分かれば、その人が細かい物体の操作や、精密作業をしていると推定できる。また、手のひらまで用いて力強く物を把持する“power grasp”であれば、重い物体を動かしている可能性が高いと分かる。このように、把持形態を計測することは、人の他の部位の状態を測定するよりも行動分析の強力な手掛かりとなる。本研究も、接触領域を抽出した差分画像を用いて、把持形態の推定を試みる。

4.1 把持形態

識別には、以下3種類の把持形態を扱う。それぞれの把持形態を撮影したものの中から、「把持する前の物体の画像」、「把持中の画像」、「把持後の熱痕跡が付いた物体の画像」を示す。

○ tip

“precision grasp”である。指先でつまむように把持する。小さい物や細い物を持つときの持ち方である。物体と接触するのは指先のみである。図を Fig.4 に示す。

○ body

物体の側面を指の腹ではさみ把持する。指の腹が全体的に物体に接触する形になる。図を Fig.5 に示す。

○ power

“power grasp”である。手のひらまで物体に接触するような把持を行う。図を Fig.6 に示す。

画像を見ると、持ち方により異なる熱痕跡が残っていることが確認できる。

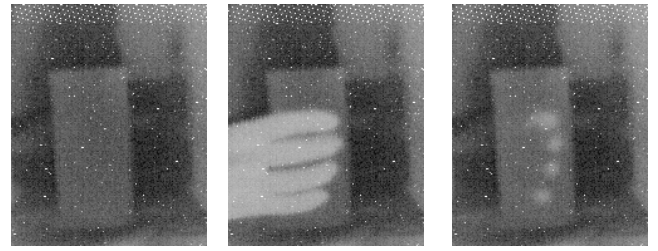


Fig.4 tip

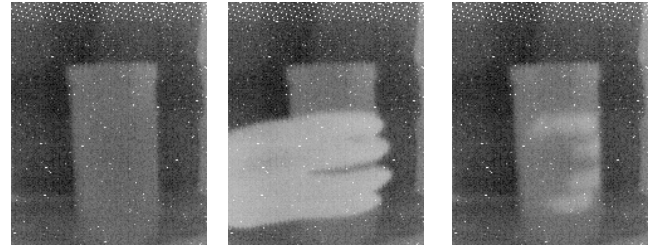


Fig.5 body

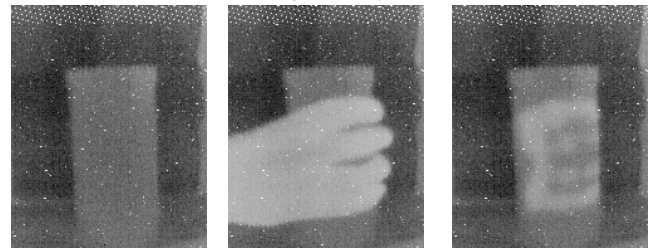


Fig.6 power

4.2 特徴量

把持形態を識別するための特徴量として、Hu モーメント不変量を用いる。類似画像検索などに用いられている Hu モーメント不変量とは7つの値からなる特徴量で、反転によって符号が逆転する7番目の値を除き、画像のスケール変化、回転、および反転に対して不変である。接触領域の形状のみに依存し、把持位置が変化しても同じ値を返すため、把持形態の分類に有効である。デジタル画像に対して、中央モーメントを

$$\mu_{ij} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^i (y - \bar{y})^j f(x, y)$$

スケール不変モーメントを

$$\eta_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{\mu_{00}^{(1+(i+j)/2)}}$$

としたとき、Hu モーメント不変量 $I_1 \sim I_7$ は

$$I_1 = \eta_{20} + \eta_{02}$$

$$I_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + \eta_{11}^2$$

$$I_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2$$

$$I_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2$$

$$I_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

$$I_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})$$

$$I_7 = (3\eta_{21} - 3\eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[(3\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] - (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

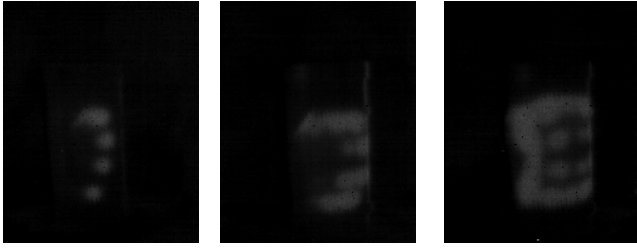


Fig.7 tip

Fig.8 body

Fig.9 power

である。

4.3 識別手法

認識手法は最短距離法を用いる。それぞれの画像の特徴量を7次元空間の点とし、それぞれのテストデータに対してユークリッド距離が最も近い学習データを探索する。その学習データのクラスをテストデータのクラスとして識別する。

5. 実験

本節では、提案手法により抽出した物体と手の接触領域の熱痕跡画像を用いた、把持形態の識別実験とその結果について述べる。

5.1 接触領域の抽出

Fig.4,5,6のそれぞれの画像を用いた差分画像の例をFig.7,8,9に示す。このように、背景部分が消え、熱痕跡のみが残っているのが確認できる。

5.2 使用データ

”tip”, ”body”, ”power”の三通りの把持形態の、熱痕跡を抽出した差分画像をそれぞれ20枚用意し、10枚ずつのグループに分けた。把持形態ごとに2つのグループの片方を学習データ、もう片方をテストデータとして、合計学習データ30枚、テストデータ30枚で識別をした。これを学習データとテストデータを割り当てる8通りの組み合わせについてそれぞれ行った。

5.3 識別結果

8通りの組み合わせで行った実験を合わせた識別結果をTable 1に示す。行が正解クラス、列が識別クラスを表す。

正解\識別	tip	body	power	識別率 [%]
tip	76	4	0	95.0
body	0	68	12	85.0
power	0	6	74	92.5

Table 2 識別結果

全体の識別率は90.8%であり、本手法が把持形態の推定に十分有効である事が分かる。

6. おわりに

本論文では、遠赤外線カメラによって取得した把持物体の熱痕跡画像を用いた接触領域の検出と把持形態の推定法の提案を行った。また、提案手法により実画像から把持形態を識別し、手法の有効性を確認した。今後は、さらに複雑な作業内容に関連付けて接触領域の抽出と機械学習による作業内容の識別を行う。さらに、モーションキャプチャシステムを用いた人の動作の計測と、物体位置の計測、また接触領域の抽出を行い、それらに関連付けてデータベースに格納し、解析する。

謝辞

本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構の研究成果展開事業センター・オブ・イノベーション (COI) プログラムにより、助成を受けたものである。

文献

- [1] 関喜一, 下条誠, 佐藤滋, 高橋昭彦 “高柔軟性をもつ把持圧分布センサの開発”, 計測自動制御学会論文集, Vol.31, No. 9, pp. 1528-1530, 1995
- [2] 松尾一矢, 村上剛司, 長谷川勉 “手作業認識のための触覚センサ素子配置の決定手法”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 13, No. 1, pp. 93-96, 2008
- [3] YANG, Yezhou, et al. “Grasp Type Revisited: A Modern Perspective on A Classical Feature for Vision.” In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. p. 400-408, 2015
- [4] 池内克史 “人間の把持行動観察によるロボットの把持戦略の生成”, 日本ロボット学会誌, Vol. 18, No. 6, pp.792-797, 2000
- [5] 原田研介, 辻徳生, 金子健二, 金広文男, 丸山健一, “直方体モデルに基づく多指ハンドの把握計画”, 日本機械学会論文集 C編 76.762, 331-339. 2010
- [6] “Seek Thermal 社ホームページ”, <http://www.thermal.com/thermal-cameras/>
- [7] 鎌倉矩子: “手のかたち 手のうごき”, 医歯薬出版株式会社, 1989