

赤外線センサアレイを用いた温度と空間に関する 局所鋭敏性ヒストグラムによる人体追跡に関する検討

細野 峻司[†] 高橋 友和^{††,†} 出口 大輔^{†††,†} 井手 一郎[†] 村瀬 洋[†]

相澤 知禎^{††††} 川出 雅人^{††††}

[†] 名古屋大学 大学院情報科学研究科, 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

^{††} 岐阜聖徳学園大学 経済情報学部, 〒500-8288 岐阜県岐阜市中鶉 1-38

^{†††} 名古屋大学 情報連携統括本部, 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

^{††††} オムロン株式会社 技術・知財本部 技術開発センタ 〒619-0283 京都府 木津川市木津川台 9-1

E-mail: [†]{hosonot}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ^{††}takahashi@gifu.shotoku.ac.jp,

^{†††}ddeguchi@nagoya-u.jp, [†]{ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp, ^{††††}{aizawa,kawade}@ari.ncl.omron.co.jp

あらまし 本報告では、赤外線センサアレイを用いた人体追跡手法を提案する。赤外線センサアレイは空間的な温度分布を低解像度温度画像としてとらえることができる装置である。このセンサを用いて人体追跡を行なう場合、出力画像が非常に低解像度であるため高精度に人体を追跡することは困難である。そこで本報告では、低解像度温度画像中の人体を記述する特徴として、温度と空間に関する局所鋭敏性ヒストグラムを提案する。このヒストグラムを用いて人体追跡を行なうことで、遮蔽や姿勢変動、複雑な背景に頑健な追跡が可能となる。また、提案手法による人体追跡の有効性を確認するための様々な動画系列を用いた評価実験についても報告する。

キーワード 赤外線センサアレイ, 人体追跡, ヒストグラム特徴

A Study on Human Tracking using a Far-Infrared Sensor Array and a Thermo-Spatial Sensitive Histogram

Takashi HOSONO[†], Tomokazu TAKAHASHI^{††,†}, Daisuke DEGUCHI^{†††,†},

Ichiro IDE[†], Hiroshi MURASE[†], Tomoyoshi AIZAWA^{††††}, and Masato KAWADE^{††††}

[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 464-8601 Japan

^{††} Faculty of Economics and Information, Gifu Shotoku Gakuen University

Nakauzura 1-38, Gifu-shi, Gifu, 500-8288 Japan

^{†††} Information and Communications Headquarters, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 464-8601 Japan

^{††††} Corporate R&D, OMRON Corporation 9-1 Kizugawadai, Kizugawa, Kyoto, Japan

E-mail: [†]{hosonot}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ^{††}takahashi@gifu.shotoku.ac.jp,

^{†††}ddeguchi@nagoya-u.jp, [†]{ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp, ^{††††}{aizawa,kawade}@ari.ncl.omron.co.jp

Abstract We propose a human body tracking method using a far-infrared sensor array. A far-infrared sensor array captures the spatial distribution of temperature as a low-resolution image. In case of using this sensor, it is difficult to accurately track humans because it outputs low-resolution thermal images. In order to solve this problem, we propose a thermo-spatial sensitive histogram suitable to represent the target in the low-resolution thermal image. Based on this histogram, the proposed method tracks humans robustly to occlusions, pose variations, and background clutter. We demonstrate the effectiveness of the method through an experiment using various image sequences.

Key words Far-infrared sensor array, tracking, histogram feature

1. はじめに

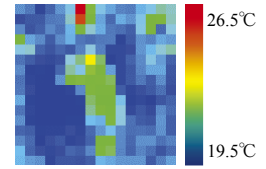
人体行動解析のための多くのシステムに可視光カメラが用いられている。しかし、可視光カメラは、得られた画像から容易に個人を特定できてしまい、利用者に見られているという威圧感や不安感を与えてしまうため、設置が困難な場所が多い。この問題を解決するため、フロアセンサ [1] や赤外線センサネットワーク [2] を用いた人体行動解析システムが開発されている。前者は感圧センサを床に敷くことで足跡を検出することによって、後者は人体の有無の判定ができる単一素子の赤外線センサを分散させネットワークを構築することによって、人体行動解析を行なうことができる。しかし、これらのシステムはプライバシーの問題を回避することは可能であっても、人体の形状をとらえることが困難であるため、ジェスチャ認識等のインタラクティブなシステムに用いることができない。

そこで、プライバシーの問題を回避しながらインタラクティブなシステムにも用いることができる新たなデバイスとして、赤外線センサアレイが注目されている [3]。赤外線センサアレイは、少数の赤外線センサを格子状に集約したものであり、ある領域内の温度分布を計測することができる装置である。図 1 に人体を可視光カメラで撮影した場合の画像と 16×16 画素の赤外線センサアレイで撮影した場合の画像を示す。赤外線センサアレイにより、低解像度温度画像が撮影されていることがわかる。低解像度温度画像から個人を特定することは困難であるため、赤外線センサアレイはプライバシーの問題から可視光カメラの設置がためらわれるような場所にも設置することが可能である。また、人体の大まかな形状を観測することができることから、ジェスチャ認識等のインタラクティブなシステムにも利用することができる [4]。以上のことから、赤外線センサアレイを用いた人体行動解析に期待が寄せられている。多くの人体行動解析システムが人体の位置を必要とすることから、我々は、赤外線センサアレイを用いた人体追跡手法を検討している。

今日までに、可視光カメラを用いた人体追跡手法が多く提案されてきた。追跡対象を表現するため、特徴点抽出が多くの追跡手法に用いられている [5], [6]。特徴点抽出は、追跡対象から追跡に有効な特徴点を抽出し追跡することで、正確かつ高速な追跡を可能にする。しかし、赤外線センサアレイを用いる場合は、出力画像が低解像度温度画像であるため、エッジやコーナを必要とする特徴点抽出を適用することは困難である。また、輝度ヒストグラムを用いた追跡手法も多く提案されている。輝度ヒストグラムは、追跡対象領域中に現れる輝度値の頻度を表す特徴であるため、追跡対象の形状変化の影響を受けにくい。さらに、この手法を応用して部分ヒストグラム [7] を用いた手法も多く手法に組み込まれている [8], [9]。部分ヒストグラムは追跡対象を複数の領域に分割し、各領域から個別に作成された輝度ヒストグラムである。これにより、追跡対象の一部の領域が遮蔽された場合でも遮蔽されていない領域の輝度ヒストグラムを用いて、遮蔽に頑健な追跡を行なうことができる。しかし、部分ヒストグラムを低解像度温度画像に用いると、分割された各領域が非常に小さくなってしまいうため、高精度な追跡が



(a) 可視光カメラ



(b) 赤外線センサアレイ

図 1 人体を可視光カメラと 16×16 画素の赤外線センサアレイで撮影した例。

困難になる。以上のような理由から、低解像度温度画像中の追跡対象を表現するための特徴が必要である。

そこで本報告では、低解像度温度画像中の人体を表現するため、温度と空間に関する局所鋭敏性ヒストグラムを提案する。このヒストグラムでは、注目画素との距離と、参照温度との温度差により重みづけされた値をヒストグラムに投票する。注目画素の位置を変化させることにより、対象物体を複数のヒストグラムで表現することができる。また、人体の温度を参照温度にすることにより、人体以外の熱源や背景の影響を抑制したヒストグラムを作成することができる。このヒストグラムを追跡に用いることにより、遮蔽や姿勢変動、複雑な背景に頑健な追跡を行なうことが可能となる。以下、2. で温度と空間に関する局所鋭敏性ヒストグラムによる人体追跡について述べ、3. で提案手法の有効性を確認するための実験およびその結果、考察について述べる。最後に、4. で検討課題を整理し本報告をむすぶ。

2. 温度と空間に関する局所鋭敏性ヒストグラムによる人体追跡

2.1 温度と空間に関する局所鋭敏性ヒストグラム

一般的な輝度ヒストグラムの場合、ある画像におけるヒストグラム \mathbf{H} のビン b ($b = 1, \dots, B$) の値は、

$$\mathbf{H}(b) = \sum_{i=1}^N Q(T_{\mathbf{x}_i}, b), \quad (1)$$

となる。ここで N は画像中の画素数であり、 \mathbf{x}_i は i 番目の画素の位置である。また $Q(T_{\mathbf{x}_i}, b)$ は輝度値 $T_{\mathbf{x}_i}$ がビン b に属する場合に 1、それ以外の場合に 0 を返す関数である。一般的に、このヒストグラムを追跡に用いる場合、追跡対象領域からヒストグラムを作成することで追跡対象を表現する。この場合、追跡対象を一つのヒストグラムのみで表現するため、追跡対象が遮蔽された場合、ヒストグラムが大きく変化してしまうという問題がある。この問題を解決するため、He らは空間に関する局所鋭敏性ヒストグラムを提案している [10]。このヒストグラムでは、ヒストグラムに投票する値をある注目画素との距離により重みづけする。これにより、注目画素の位置によりヒストグラムの値が変化するので、追跡対象を複数のヒストグラムで表現することが可能となる。また、追跡対象から距離の離れた画素値の影響を軽減できることから、背景の影響を抑制したヒストグラムを作成することも可能である。しかし、画素間の距離による重みづけだけでは、追跡対象に近い背景の影響を抑制することはできない。

そこで我々は、投票する値を、注目画素との距離だけでなく参照温度との温度差によっても重みづけする、「温度と空間に関する局所鋭敏性ヒストグラム」を提案する。温度と空間に関する局所鋭敏性ヒストグラム $\mathbf{H}_{\mathbf{x}_p}^{T_m}$ のビン b の値は、

$$\mathbf{H}_{\mathbf{x}_p}^{T_m}(b) = \sum_{i=1}^N \alpha_1^{\|\mathbf{x}_p - \mathbf{x}_i\|} \cdot \alpha_2^{|T_m - T_{\mathbf{x}_i}|} \cdot Q(T_{\mathbf{x}_i}, b), \quad (2)$$

となる。ここで、 $0 < \alpha_1, \alpha_2 < 1$ 、 T_m は参照温度、 \mathbf{x}_p は注目点である。可視光カメラの場合、人体は様々な輝度値で観測されるが、赤外線センサアレイの場合は、観測される人体の温度は服装や姿勢変化の影響を受けにくいいため、概ね様な温度で観測される。つまり、このヒストグラムにおいて参照温度を人体の温度のにすることにより、背景や人体外の熱源の影響を削減したヒストグラムを作成することができる。このヒストグラムを人体追跡に用いることで、追跡対象を背景の影響に頑健な複数のヒストグラムで表現することが可能となる。

2.2 人体追跡

人体追跡はテンプレートから作成されたヒストグラムと人体候補領域から作成されたヒストグラムとの距離を計算することにより行なう。テンプレートには先頭フレームに手で与えられた人体を囲う矩形を用いる。また、姿勢変動等による見えの変化に対応するために、テンプレートの更新も逐次行なう。以下、各処理について詳細を説明する。

2.2.1 テンプレートヒストグラムの作成

追跡対象を表現するために、テンプレートから温度と空間に関する局所鋭敏性ヒストグラムを作成する。このとき、追跡対象領域中の複数の画素に注目してヒストグラムを作成することで、追跡対象を複数のヒストグラムで表現する。また、式2における参照温度 T_m はテンプレート中の画素値（温度）の中央値を用いる。これにより、テンプレート中にわずかに存在する背景画素の影響を受けずに人体の温度を注目温度とすることができる。

2.2.2 人物領域の探索

人体領域の探索では、入力フレームからテンプレートと同じ大きさの人体候補領域を複数切り出す。このとき、人体候補領域を入力フレーム全体から網羅的に切り出すのではなく、1フレーム前の追跡結果の周辺のみから作成することで、探索範囲を絞り込む。次に、切り出された人体候補領域から温度と空間に関する局所鋭敏性ヒストグラムを作成する。ヒストグラムを作成する際の注目画素の位置と参照温度はテンプレートと同等のものを用いる。テンプレートと人体候補領域の類似度 $S(R_t, R_c)$ は、

$$S(R_t, R_c) = \sum_{i=1}^N I(\mathbf{H}_{\mathbf{x}_i}^{T_m}, \mathbf{H}_{\mathbf{x}'_i}^{T_m}), \quad (3)$$

により求める。ここで、 R_t, R_c はテンプレートと人体候補領域を表す。また N は注目画素の数であり、 $\mathbf{H}_{\mathbf{x}_i}^{T_m}$ と $\mathbf{H}_{\mathbf{x}'_i}^{T_m}$ は、それぞれテンプレートと人体候補領域における i 番目の注目画素から作成されたヒストグラムを表す。さらに関数 $I(\cdot, \cdot)$ はヒストグラムインタセクション [11] であり、各ヒストグラムにお

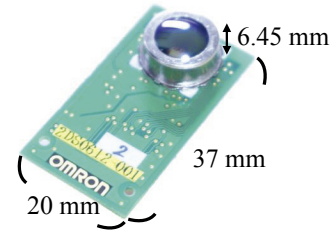


図2 16 × 16 画素赤外線センサアレイ。

る類似度の計算に用いる。すべての人体候補領域についてテンプレートとの類似度 $S(R_t, R_c)$ を計算した後、類似度が最も高くなる人体候補領域を入力フレームにおける人体領域とする。

2.2.3 テンプレートの更新

姿勢変動や見えの変化に対応するために、テンプレートの更新を行なう。このとき、遮蔽による影響を削減するために、各ヒストグラムに対して個別に更新を行なう。各ヒストグラムの更新は、

$$\mathbf{H}_{\mathbf{x}_i}^{T_m} = \mathbf{H}_{\mathbf{x}'_i}^{T_m} \quad \text{if } F_1 \cdot M < I(\mathbf{H}_{\mathbf{x}_i}^{T_m}, \mathbf{H}_{\mathbf{x}'_i}^{T_m}) < F_2 \cdot M, \quad (4)$$

によって行なう。ここで $\mathbf{H}_{\mathbf{x}'_i}^{T_m}$ は追跡結果から作成されたヒストグラムであり、 M は各注目画素におけるヒストグラムインタセクションの中央値である。また、 F_1, F_2 はテンプレートの更新されやすさを表すパラメータである。

3. 実験

提案手法の有効性を確認するために、赤外線センサアレイで人体を撮影した動画を用いて実験を行なった。実験を行なうにあたり、16 × 16 画素の赤外線センサアレイを用いてデータセットを構築した。この赤外線センサアレイのフレームレートは 10 fps である。図2に実験で使用した赤外線センサアレイ (OMRON 社製 Thermal sensor D6T-1616L) を示す。以下、実験で使用したデータセット、実験条件、実験結果とその考察について述べる。

3.1 データセット

実験のため、赤外線センサアレイを用いて様々な動画系列を撮影した。データセットには 13 本の動画が含まれており、総フレーム数 1,729 フレームで構成されている。このデータセットは複雑な背景や、遮蔽、姿勢変動を多く含んでいる。すべての動画系列の各フレームに正解の人体領域を同じ大きさの矩形として手で与え、精度評価に用いた。

3.2 実験条件

提案手法の有効性を確認するため、温度と空間に関する局所鋭敏性ヒストグラムの他にも、空間のみに関する局所鋭敏性ヒストグラム [10]、温度のみに関する局所鋭敏ヒストグラムを用いて比較実験を行なった。前者は、可視光カメラを用いた追跡で用いられているヒストグラムであり、注目点との距離により投票する値を重みづけする。後者は、参照温度との温度差により投票する値を重みづけする。これにより、温度と空間両方について重みづけを行なうことが有効であるかどうかを確認した。また、評価指標として追跡結果と正解の矩形の中心の距離を用

表 1 追跡誤差 [画素]

ヒストグラム	温度と空間 (提案手法)	空間のみ	温度のみ
誤差	1.2	1.5	1.9

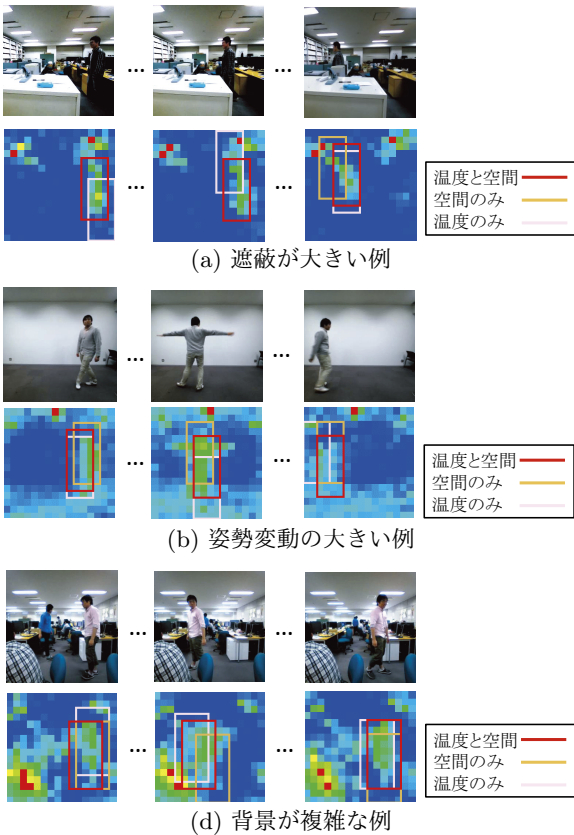


図 3 提案手法が他の手法に比べ精度よく追跡ができた例

いた。

3.3 実験結果および考察

実験結果を表 1 に示す。表はそれぞれの手法における追跡結果の正解矩形の中心との距離の平均を示しており、提案手法による追跡が最も精度が高いことがわかる。

図 3 に提案手法により精度よく追跡ができた例を示しており、大きな遮蔽や姿勢変動がある場合にも提案手法が精度よく追跡できていることがわかる。また、複雑な背景下においても精度よく追跡できていることがわかる。

図 4 に提案手法による追跡が失敗した例を示す。追跡対象が他の人体の前を通る際に、提案手法は追跡を失敗している。これは、追跡対象と他の人体が形状、温度ともに似ていたため、区別することができなかったからであると考えられる。このような場合でも正確にトラッキングを行なうためにはより詳細に追跡対象を表現できるような特徴を検討し、追跡手法を改善する必要があると考えられる。

4. むすび

本報告では、赤外線センサアレイから得られた低解像度温度画像から人体を追跡する手法について述べた。そのなかで、低解像度温度画像中の人体を表現するために、温度と空間に関する

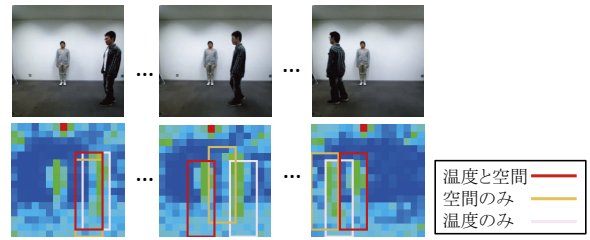


図 4 提案手法による人体追跡が失敗した例

る局所鋭敏性ヒストグラム提案した。このヒストグラムは投票する値を注目画素と参照温度を用いて重みづけすることで、背景や遮蔽の影響を削減することを狙いとしており、その有効性を実験により確認した。今後は、複数の人体が画像中に含まれる場合への対処や、赤外線センサアレイと人体の距離が変化することによるスケールの変化に対応できる手法の検討等を行なっていきたい。

謝辞 日頃より熱心に御討論頂く名古屋大学村瀬研究室諸氏に深く感謝する。本研究の一部は、科学技術研究費補助金による。

文 献

- [1] M. Sousa, A. Techmer, A. Steinhage, C. Lauterbach, and P. Lukowicz, "Human tracking and identification using a sensitive floor and wearable accelerometers," Proc. 11th IEEE Int. Conf. on Pervasive Computing and Communications, pp.166–171, March 2013.
- [2] P. Zappi, E. Farella, and L. Benini, "Tracking motion direction and distance with pyroelectric IR sensors," IEEE Sensors Journal, vol.10, no.9, pp.1486–1494, Sept. 2010.
- [3] 木股雅章, "赤外線センサの開発動向," 映像情報メディア学会技報, IST2011-9, Feb. 2011.
- [4] 鳥山千智, 細野峻司, 高橋友和, 出口大輔, 井手一郎, 村瀬洋, "動作領域を考慮した赤外線センサアレイによるジェスチャ検出に関する検討," 2014 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, p.145, March 2014.
- [5] S. Baker and I. Matthews, "Lucas-Kanade 20 years on: A unifying framework," Int. Journal on Computer Vision, vol.56, no.3, pp.221–255, Feb. 2004.
- [6] Y. Yan, J. Wang, C. Li, and Z. Wu, "Object tracking using SIFT features in a particle filter," Proc. 3rd IEEE Int. Conf. on Communication Software and Networks, pp.384–388, May 2011.
- [7] A. Adam, E. Rivlin, and I. Shimshoni, "Robust fragments-based tracking using the integral histogram," Proc. 2006 IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, vol.1, pp.798–805, June 2006.
- [8] L. Cehovin, M. Kristan, and A. Leonardis, "An adaptive coupled-layer visual model for robust visual tracking," Proc. 2011 IEEE Int. Conf. on Computer Vision, pp.1363–1370, Nov. 2011.
- [9] S.M. Shahed Nejhum, J. Ho, and M.-H. Yang, "Visual tracking with histograms and articulating blocks," Proc. 2008 IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1–8, June 2008.
- [10] S. He, Q. Yang, R.W.H. Lau, J. Wang, and M. Yang, "Visual tracking via locality sensitive histograms," Proc. 2011 IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.2427–2434, June 2013.
- [11] A. Barla, F. Odone, and A. Verri, "Histogram intersection kernel for image classification," Proc. 2003 IEEE Int. Conf. on Image Processing, vol.3, pp.513–516, Sept. 2003.