

色制御 LED と安価な Web カメラを用いた作業姿勢推定システムの提案

A System for Work Posture Analysis using controllable LED and inexpensive Web-camera

樋渡 和憲[†]岩井 将行[‡]

Kazunori Hiwatashi Masayuki Iwai

1. はじめに

近年、労働者の作業姿勢を分析し、作業改善に役立てる動きがある。例えば腰に負荷をかける動作に起因する腰痛など、怪我や故障の元となる動作を検知・警告する試みがある。作業姿勢の分析・推定手法として、マーカレスに骨格認識が可能な Kinect を用いて姿勢追跡を行い推定する方法がある。しかし、特に工場内での運用を考えた時、Kinect は有効認識可能距離が 4m と短く、価格も本体のみで二万円と高額で、その運用環境の構築経費は決して安くはない。その結果システム導入の敷居を不必要に高くしている。このため本研究では千円から購入可能で動作に必要なスペックもマイクロコンピュータに収めることができる Web カメラと openFrameworks(以下 OF)の OpenCV ライブラリ、色制御 LED を用いた簡易作業姿勢推定システムを提案する。

2. 関連研究

本研究の関連研究として奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科の高橋 典宏、山澤 一誠ら[1]の距離画像センサを用いた俯瞰画像からの SVM による人物の姿勢分類がある。この手法では工場内の姿勢分類を想定し、天井に設置した距離センサによる姿勢分類を行っている。しかし複数人同時姿勢分類について言及していない。本提案システムではマーカを複数種類用意することで同時追跡することが理論上可能である。工場などでは複数人が互いに行き交うことが想定されるため、提案システムの方が有効であると考えられる。また、Kinect を用いたモーションキャプチャによる作業姿勢推定及び警告システムとして、摂南大学理工学部の川野 常夫、福井 裕ら[2]の腰への振動触覚フィードバックによる作業中の腰痛警告システムがある。このシステムでは Kinect によって骨格情報を取得し、取得したスケルトンのジョイントが腰に負荷をかける前屈姿勢の位置関係にある時前屈姿勢と判定する。しかし前述のように導入コストが高く、提案手法の方が実情に即していると考えられる。

3. 提案システムの概要

3.1 目的

本研究の目的は、安価で動作環境に必要なスペックも低い Web カメラと OF による画像認識で、マイクロコンピュータ上でも運用可能なシステムを提案することである。こ

れにより Raspberry Pi などの 5 千円程度で入手可能なマイクロコンピュータを用いて低予算で作業姿勢推定を実現できる。

3.2 方法

本研究で提案するシステムは、身体の各関節や部位にマーカを装着して OF の OpenCV ライブラリを用いて色追跡を行い、複数の追跡点の位置関係から作業姿勢を推定する。OF は Raspberry Pi 上でも動作させることが可能であり、OpenCV ライブラリを用いることで高速かつ十分な精度を持つ色追跡を行うことができる。作業姿勢のフィードバックは接続したモニターから視覚情報として与える。システムの流れは以下の通りである。追跡対象となる人物のマーカが全て映るような位置に Web カメラを固定する。追跡の前にキャリブレーションを行う。キャリブレーションでは各部位に装着した色マーカを出力画面上でマウスから指定する。色追跡は RGB カメラから取り込んだ画像を HSV 変換したのち、キャリブレーション時に指定した色と同じ HSV を持つ色領域を判別し、判別した領域の中心点を追跡点とする。各追跡点の距離と、追跡点同士を結んだ直線の傾き(角度)を求め、それらの情報から姿勢を推定する。ただし追跡点同士の距離は Web カメラから追跡対象の距離によっても変化する。例えば立位から前屈姿勢になった場合と立位のままマーカカメラから遠ざかった場合、頭部につけたマーカから膝につけたマーカまでの距離は画像認識上同じように変化したと認識する。そこで頭部から肩までの距離など想定される動作では距離が普遍的な二点の長さ L をキャリブレーション時に取得し、 L を基準にカメラから追跡対象までの距離を推定し姿勢推定に反映する。

4. 実験概要

4.1 実験手法

作業姿勢推定システムの評価は色紙を用いるケースと LED を用いるケースの二つについて行った。実験では例として腰に負荷をかける運動の検出を想定し、しゃがみ込み姿勢(poseA)及び前屈姿勢(poseB)の場合の追跡点の位置関係を検出対象となるようシステムに設定した。胸上部、腰、右膝の各点に異なるマーカをつけた追跡対象人物が Web カメラに正面及び側面を見せた状態で poseA, poseB を行った。これをシステム上で姿勢推定し、実際の動作とシステムが推定した姿勢を比較した。なお姿勢推定アルゴリズムは以下の通りである。

・ poseA:膝と腰のマーカを結んだ傾き($=\theta$)が $\theta < 20^\circ$ または膝から胸上部までの距離を L_x がキャリブレーション時の距離を L として $L_x < L - 50$

[†] 東京電機大学未来科学部情報メディア学科, TDU

[‡] 東京電機大学未来科学部情報メディア学科, TDU

- poseB:腰と胸上部につけたマーカの傾き($=\theta_0$)が $\theta_0 < 70^\circ$, 且つ膝と腰のマーカを結んだ傾き($=\theta_{0_1}$)が $20^\circ < \theta_{0_1} < 80^\circ$ または膝から胸上部までの距離を L_x , キャリブレーション時の距離を L として $L-50 < L_x < L-30$

また実験に用いた機器は以下の通りである。なお運用環境はノート PC とマイクロコンピュータの二つの環境で実験を実施した。

- Web カメラ :logicool V-UAR38
- システムを運用する PC :MacBook Pro2013, Raspberry Pi2 modelB

4.2 結果

色紙マーカについては初めのキャリブレーション後、周囲のマーカと同一色の物体や環境光などの影響を受けてマーカを正しく追跡しない場合が確認されたが概ね正しく追跡できていた。正面・側面についてそれぞれ 10 回ずつ poseA, poseB を行ったところ 90%近い値で正しく姿勢分析を行っていることが分かった。また、スクワットによる poseB から poseA への連続した動作についても、正しく推定できていることが分かった。以下図 1, 図 2 にシステムが poseA, poseB を検出した際の出力画像(macBookPro 時)とその結果(表 1)を示す。

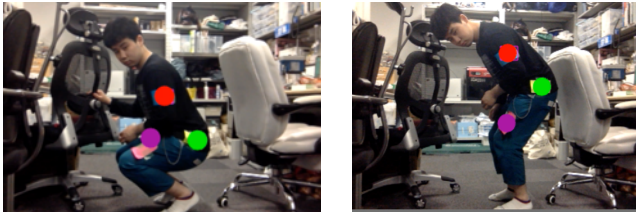


図 1. poseA, poseB の時のカメラ画像

正しく追跡できたか?	追跡失敗する場合があるが姿勢推定に大きく影響するほどではない
姿勢推定正解率 poseA	9/10 回
姿勢推定正解率 poseB	10/10 回

表 1 追跡実験の結果詳細

Raspberry Pi2modelB においてもフレーム落ちすることなく同様の結果を得ることができた。LED マーカについては LED 部を露出させた状態で青色に制御して行ったが、白飛びにより Web カメラが白色光として認識してしまい、通常の明るさでは追跡用マーカとして機能させることができなかった。なお、消灯時かつ日光も入らないような状況ではマーカとして認識することができた。その場合の追跡性能は色紙マーカと同様であった。

5. 考察

色紙マーカによる実験の結果から、提案する追跡システムは Raspberry Pi のような低スペックマシンでも十分動作させることが可能と判明した。色紙マーカにおいて正しく追跡しない状況が発生した理由として、システム上マーカが見つからない場合はマーカと近い色を持つオブジェクトに追跡点が移動してしまうという問題がある。そのため周囲の環境光(日差しや照明の光量、逆光であるか否かなど)によってカメラ上の HSV が変化したために、正しい追跡

が行われない状況が発生したと考えられる。この問題の解決策として、今回の追跡点決定アルゴリズムは前のフレームの追跡点の座標に近い追跡色領域の中心を次の追跡点としていたが、この条件をさらに厳密にする方法が考えられる。一方 LED マーカについては追跡マーカとして使用するためには十分な発光量が必要であり、単に LED の発光量を下げただけでは解決できない。LED のカバーとして印刷用普通紙や養生テープなどを使用してみたところ白飛びの問題を解決することはできなかった。こちらの解決策としては、カメラの ISO 感度にも依存するが LED を直接マーカとするのではなくその反射光を利用する必要があると考えられる。

6. まとめ

今回の実験から Web カメラによる色追跡を利用した作業姿勢推定は Raspberry Pi のようなスペックの低い環境で運用することが可能であると判明した。提案システムは理論上 Web カメラに追跡したい箇所全てが映る範囲で任意の人数もしくは任意の部位について追跡を行うことができる。今回の実験では、作業者の身体的負荷を検出する作業姿勢推定対象として一般的な腰負荷運動について推定したが、例えば上半身のみにもマーカを設置し腕の運動から荷物を棚に上げ下げする運動を検出するなど、検出したい姿勢に合わせて応用することが可能である。提案システムの大きな課題としては LED マーカの有効な使用方法である。検証の結果 LED の光を白い紙に反射させた場合、Web カメラからの距離が 30cm 以内であれば色を認識することができたが、これでは到底提案システムで使用することはできない。LED の光を効率良く拡散し色成分を強調できる素材の検討が急務である。

謝辞

本研究を行うにあたって、openFrameworks のサンプル example sourcecode10. ColorTrackingwithOpenCV(<https://sites.google.com/site/ofaukland/examples/10-testing>)を参考にさせていただきました。謹んで御礼申し上げます。また東洋ビジネスエンジニアリング株式会社の志村様にご協力いただきました。誠にありがとうございます。

参考文献

- [1] 高橋 典宏, 山澤 一誠, 生雲 公啓, 野田 賢, 横矢 直和, “距離画像センサを用いた俯瞰画像からの SVM による人物の姿勢分類”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 107, No. 384(2007)
- [2] 川野常夫, 福井 裕, 奥野竜平, 横田 祥, 村松十和, 小崎篤志, “腰への振動触覚フィードバックによる作業中の腰痛警告システム”, 精密工学会学術講演会講演論文集, 2013A(0), pp. 547-548(2013)
- [3] 山本 華代, 神代 雅晴, 衛藤 理砂, 藤井 敦成, 赤染 秀一郎, 鈴木 秀樹, “某製造工場における腰痛と作業姿勢及び生活習慣との関係”, 産業衛生学雑誌, Vol. 46, No. 3 (2004).