

インソール型センサによる荷物負荷時の歩行姿勢フィードバックシステム

伊藤 詩乃* Yichen Peng* Erwin Wu* 小池 英樹*

概要. 姿勢を正しく保つことは怪我を防ぎ、健康であるために重要である。特に、荷物を運ぶなど重労働を行うときは怪我のリスクが高い。しかし、現在の労働時の姿勢の分析システムでは、姿勢を画像で確認するためのカメラが必要であり [3, 4], 使い続けるのは難しくなっている。そこで、本稿ではユーザの活動を制限しないインソール型の足圧センサを用いて、荷物を持った状態での歩行姿勢を予測するモデルを学習させ、それをフィードバックするシステムを作成し、ユーザ実験を行った。1人のユーザを学習したモデルは84.7%, 4人のユーザを学習したモデルは71.2%の正解率で歩行姿勢を分類する。アンケートの結果、音声と振動のフィードバックのうち、振動のみが好まれた。

1 はじめに

正しい姿勢を保った状態で日々の生活を過ごすことや体を使った労働をすることは、健康的な体づくりや事故の防止になり得る。特に運動時や労働時など、体に負荷をかけている状態では怪我のリスクが高く、体の危険を検知する必要がある。

現在研究されている労働時の姿勢推定システムはカメラを用いている [3, 4] が、活動範囲をカメラの画角内に収める必要があり、活用の幅が狭くなっている。そこで本稿は長時間ユーザが自由に動けるような労働時に使える姿勢推定システムを提案する。

圧力センサは直接足圧を計測できるため、荷物の重さを直接測ることができると考えられる。そのため、負荷のかかる姿勢や動作に関する危険予測は期待ができる。しかし、医療・スポーツ分野の応用が進んでおり、体重以外の荷重がかかった状態の姿勢を正しく推定できるのかどうかは明らかになっていない。

そこで、本稿はインソール型の足圧センサのデータを入力とする姿勢推定モデルが足裏に体重以外の荷重がかかっている状態であっても姿勢の良し悪しを判断できることを示す。加えて、姿勢の推定結果をフィードバックするようなシステムを構築し、ユーザ実験を行った。

2 提案手法

本研究の姿勢推定は SolePoser [5] の足圧の入力部分に基づいている。足圧データをコンピュータに送り、姿勢分類をした結果をスマートフォンやイヤホンを用いてフィードバックする。

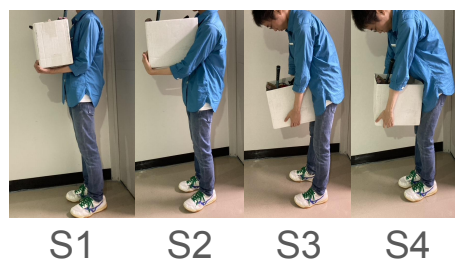


図 1. ポーズの種類 (S1: 正しい姿勢, S2: 上腕が背筋に沿っていない, S3: 背筋が鉛直でない, S4: 背筋が鉛直でなく、上腕が背筋に対して曲がる)

2.1 データセットの作成

分類の対象である歩行姿勢はイギリスの安全衛生庁が定めているガイドライン [1] に従って、図 1 の 4 種類に決定する。

4人の参加者は 25m の室内の硬い床を指定のポーズをしながら直進する。ポーズを指定して、センサのデータをポーズあたり 5 分程度とり、指定したポーズに基づくラベルづけを行った。

学習時はデータの中から、ランダムに 20 フレームのシーケンスデータを抜き出し、学習データとテストデータに分ける。同一フレームを含んでいるシーケンスデータが存在するが、学習データとテストデータが混在しないように設計する。

荷物は約 4.5kg で、参加者の総重量の 6.8%~8.6% に該当する。靴は各自のサイズにあった動きやすい靴を着用する。歩行速度は各自の自然な速さに加えて、少し早い、少し遅いデータを含む。

2.2 モデルの学習

足圧からの姿勢推定には SolePoser の足圧の入力部分と同じネットワーク [5] を用いる。本研究では入力を両足合計 32 個の圧力センサの 20 フレームの時系列データを正規化した数値、出力を前節のポー

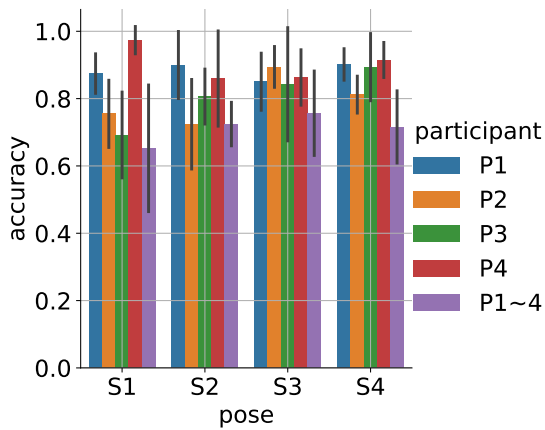


図 2. 各モデルのポーズごとの正解率

ズの種類に変更する。

4人の参加者のデータを1人ずつを学習したモデル4つと、4人全員のデータを学習させたモデル1つについて、テストデータでの正解率を図2に示す。

また、それぞれのモデルの正解率は P1: $88.1 \pm 7.55\%$, P2: $79.6 \pm 11.1\%$, P3: $80.9 \pm 14.0\%$, P4: $90.3 \pm 9.69\%$, P1~4(4人全員を学習): $71.2 \pm 13.0\%$ である。参加者によって、正解率の良い・悪いポーズの種類が異なるが、S1とS2、S3とS4の組み合わせで間違っ推論されることが多かった。

2.3 システム構成

本研究では、自由に動き回っている間もフィードバックできることを考慮し、モバイル端末の使用を提案する。荷物を持った歩行時にモバイル端末を見続けることは現実的でないため、フィードバックの手法として振動と音声の2種類を用意する。

図3に本稿で作成したフィードバックのシステム構成図を示す。インソール型の足圧センサでデータをとり、スマートフォンのセンサ用アプリケーションを通して、コンピュータにデータを送信する。コンピュータでデータを元に姿勢の予測をし、警告音を流す。また、コンピュータは予測結果をスマートフォンに送信し、スマートフォンはフィードバック専用のアプリケーションによって本体が振動する。

インソール型の足圧センサとして OpenGo¹を用いる。片足で16個の圧力センサと6DoF IMUが搭載されている。50 Hzでデータを取得する。

振動に関して、図1におけるS1では振動なし、S2とS3、S4ではスマートフォンを振動させる。ここで、ガイドラインよりS4はS2とS3より危険度が高い[1]。そこで、S4での振動はS2とS3における振動よりも長い時間振動するように開発する。音声のフィードバックに関して、コンピュータからワイ

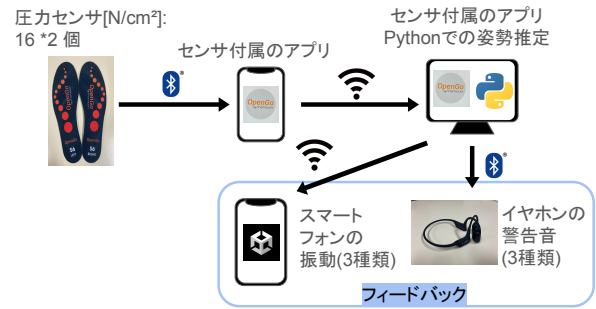


図 3. システム構成

ヤレスイヤホンを用いて使用者のみに直接フィードバックする。音声は2種類用意してあり、振動と同様に危険度に合わせて2種類の音声を使い分ける。

3 ユーザ実験

提案手法のフィードバックが有効であることを示すためにユーザ実験を行った。

3.1 実験の構成

データを測定した4人の内2人は別日にフィードバックシステムを使った。フィードバックの振動と音声を聞いた合計3種類を用いた。

各フィードバックを行いながら、25mの廊下を荷物を持ち、それぞれ2往復した。歩き終わった後に、アンケートとインタビューを行った。アンケートの質問はNASA-TLXとSUSに基づいた質問とフィードバックを好みに基づいて比べる質問で構成した。

3.2 実験結果

SUSの結果によると、両者共に振動のみのフィードバックが最も使いやすいと評価した。NASA-TLXの結果によると、音声を含むフィードバックは振動のみのフィードバックと比べて、自信を持ってフィードバックを受け取れた。しかし、時間的切迫感やストレスを感じさせていた。

4 まとめ

本稿では、インソール型の足圧センサを用いて、荷物を持った状態での歩行姿勢の足圧データを収集した。それに基づいて、危険な姿勢であるかを分類するTransformerモデルを学習させ、その精度を評価した。また、姿勢の推定結果を音声と振動を使ってフィードバックするようなシステムを構築した。ユーザ実験のアンケートの結果、振動のみのフィードバックが好まれた。

¹ <https://moticon.com/opengo>

謝辞

本研究は JST ムーンショット型研究開発事業 JP-MJMS2012 の支援を受けている。

参考文献

- [1] Health and S. Executive. Manual handling assessment charts (the MAC tool). <https://www.hse.gov.uk/pubns/indg383.PDF>, 2019.
- [2] V. Mollyn, R. Arakawa, M. Goel, C. Harrison, and K. Ahuja. IMUPoser: Full-Body Pose Estimation using IMUs in Phones, Watches, and Earbuds. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [3] C. Ruengdech, S. Howimanporn, T. In-tarakumthornchai, and S. Chookaew. Implementing a Risk Assessment System of Electric Welders' Muscle Injuries for Working Posture Detection with AI Technology. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 20(04):pp. 84–95, Mar. 2024.
- [4] Q. Tran. Automated evaluation of unsafe working postures in lifting and carrying heavy objects in construction using a CNN deep learning model. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (JSTCE) - HUCE*, 18, 06 2024.
- [5] E. Wu, R. Khirodkar, H. Koike, and K. Kitani. SolePoser: Full Body Pose Estimation using a Single Pair of Insole Sensor. In *Proceedings of the 37th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.

未来ビジョン

本研究で作成したデータセットはまっすぐな室内の廊下を歩いたのみである。絨毯の上などの異なった足場の状態、上り坂や下り坂の勾配など、平坦な道を歩く時と比べて足の異なる位置に荷重が集中するようなデータを含んでいない。さまざまな道を歩いているデータを収集することで、より多くの場所において使えるようになると考えられる。

また、荷物の重さが1種類のみであったため、軽い荷物や重い荷物であった場合の足圧の変化やモデルの対応が実証されていない。また、HSEのガイドラインに基づくと、荷物を持っている状態の姿勢だけでなく、荷物の重さや持っている時間によっても危険度が異なっている [1] ので、それに対応したフィードバックのシステムを設計する必要がある。

この研究ではモデルは姿勢の種類のみを予測するが、IMUを用いれば高精度に関節の三次元座標を予測できる可能性がある [2][5]。それを用いることで、姿勢の良し悪しだけでなく、身体の中の部分を直せば良いのかを推定することで、より具体的にフィードバックをすることが期待できる。

データセットや姿勢推定のモデル、フィードバックをより多くの状況に適応することによって、様々な場面において姿勢の危険度をユーザに伝えることができる可能性がある。我々は、本研究を通して、日常的な健康維持への寄与を目指す。