

視野画像中の特徴点追跡を用いた二足歩行ロボットの歩行安定化に関する検討

千歳科学技術大学 ○山崎美奈, 小田尚樹

本稿では二足歩行ロボットにおいて、カメラ画像中の特徴点追跡を利用した足平周りのモーメント推定に関する実験的な検討を行う。実機実験により、特徴点から推定したモーメントと力センサから得られたモーメントを比較した結果を示す。また、継続的な歩行の安定化を目指すために、特徴点の数が一定数減少した場合には自動的に新たな特徴点を抽出することで歩行安定化が可能か検証する。

1. 概要

二足歩行ロボットは人と同じ移動手段であるため、人の生活環境を変更することなく動作できると考えられる。実際にロボットが人と同じ環境で動作するためには、歩行中の安定性が重要である。著者らは過去に、目標物体を利用した歩行安定化手法について提案してきた⁽¹⁾⁽²⁾。しかしながら、本手法は一つの目標物体に依存した手段であるため、見失った場合には制御不可能になるという問題があった。そこで本稿では、従来研究の拡張として視野画像中から画像処理によって抽出される複数の特徴点を利用した歩行安定化を目指す。

本手法では、従来の歩行安定化で利用していた目標物体のかわりに、特徴点を利用することで足平周りのモーメント推定を試みる。また、視野画像中の特徴点が全て追跡不可能となった場合は制御不能になるため、特徴点が減少してきた場合は自動的に新しい特徴点を抽出することで継続的な歩行安定化を目指す。実際に特徴点を利用して推定されたモーメントと力センサから得られたモーメントの比較は実機実験にて比較検証する。

2. 視覚情報による歩行安定化

著者らの研究では、Fig.1のようにロボット上部にステレオカメラを搭載し、そこから得られる視覚情報を用いた歩行安定化を目指す。本研究で使用するロボットは足平部に構造的な柔軟性が付与されているため、Fig.2のようにモーメントに応じた変形が生じる。この変形量を視覚情報から推定することで、サジタル面の床反モーメントを推定し⁽¹⁾、重心に対する等価的な反力フィードバック⁽²⁾に利用することで、歩行安定化を達成してきた。本稿ではサジタル面の安定化のみを議論する。

視覚情報から足平のモーメントを推定するためには、Fig.3のようにロボット前方に用意した目標物体の移動量 Δv_{img} を用いる。ロボットの初期姿勢における目標物体の初期位置を $(u_{img}^{init}, v_{img}^{init})$ 、現在位置を (u_{img}, v_{img}) で表す。また、垂直方向におけるカメラの視野角、カメラ画像上の画素数、ロボットの姿勢角、カメラの内部姿勢角はそれぞれ α 、 h_{img} 、 Δq_{robot} 、 q_{cam} で表す。これらから、Fig.3の足平の変形量 Δq_{foot} は以下の式で求められる。

$$\Delta v_{img} = v_{img} - v_{img}^{init} \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta q_{robot} = \frac{\alpha}{h_{img}} \Delta v_{img} \dots\dots\dots (2)$$

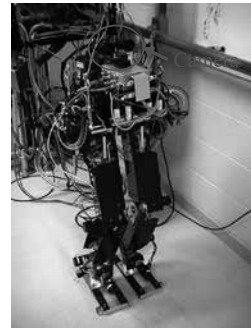


Fig. 1. 二足歩行ロボット

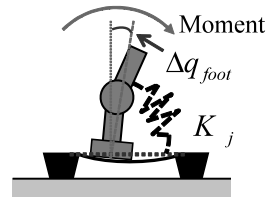


Fig. 2. 足平の構造

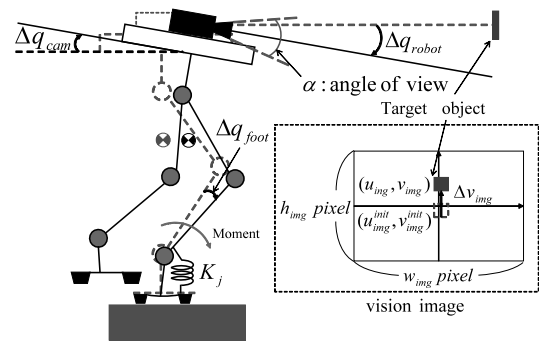


Fig. 3. 視覚情報による推定

$$\Delta q_{foot} = \Delta q_{robot} - q_{cam} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、支持脚足平まわりのモーメントは足平の剛性を用いることで次のように算出される。

$$M_y^{reac} = K_j \Delta q_{foot} \dots\dots\dots (4)$$

3. 特徴点追跡を利用した足平のモーメント推定

従来の歩行安定化は一つの目標物に依存した方法であるため、目標物体を見失った場合に制御不能になる。そこで今回は視野画像中から画像処理によって抽出される複数の特徴点を利用する手法を提案する。特徴点の抽出には KLT トラッカーによる特徴点追跡⁽³⁾を利用する。Fig.4(a)が従来の目標物体、Fig.4(b)が本手法の特徴点を追跡したカメラの視野画像である。

本手法では従来利用していた目標物の移動量の代わりに、特徴点群の移動量を利用する。移動量は特徴点群の重心の移動量から算出する。特徴点の座標は $r_i = [u_i, v_i]^T$ と定義し、重心は (5) 式に示す。n は特徴点の個数である。

$$\bar{r} = \begin{bmatrix} \bar{u} \\ \bar{v} \end{bmatrix} = \frac{1}{n} \sum_i^n r_i \dots\dots\dots (5)$$

ロボットの初期姿勢における特徴点の重心初期位置を



(a) 目標物体 (b) 特徴点

Fig. 4. 視野画像

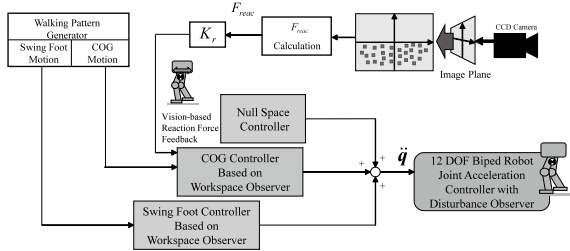


Fig. 5. 制御ブロック図

$(\bar{u}^{init}, \bar{v}^{init})$, 現在位置を (\bar{u}, \bar{v}) とすると, 重心の移動量は以下の式で表せる。

$$\Delta v_{cloud} = \bar{v} - \bar{v}^{init} \dots\dots\dots (6)$$

ここで得られた Δv_{cloud} を (1) 式の Δv_{img} の代わりに用いることで足平のモーメントを推定する。

また, 特徴点は追跡できなくなったものから消失していくため, すべて追跡できなくなった場合は制御不能になる。そこで, 継続的な歩行安定化を目指すために, 特徴点の数が一定数より下回った場合には視野画像中の特徴点をすべて更新する。この際に, 更新された重心位置をそのまま利用すると更新前の Δv_{cloud} と不連続になる。そこで更新直後の重心を初期位置とし, そこからの移動量を更新直前の Δv_{cloud} に加えていくことで連続性を保っている。

4. 実験結果

特徴点追跡を用いて推定されたモーメントの精度を調べるため, 力センサから得られたモーメントと比較する実験を行う。今回の実験ではステレオカメラの左側のみを使用する。制御ブロック図を Fig.5 に示す。実験では, ロボットを左脚で片足立ちさせた状態で前後に押した際の足平周りのモーメントを提案手法と力センサで比較する。また, 足踏み中におけるモーメントの推移も比較する。この時, 特徴点の数が一定数 (今回は 80) を下回った場合には, 特徴点を新たに抽出している。実験で得られたモーメントの推移は, 片足立ちの時を Fig.6, 足踏みの時を Fig.7(a) に示す。このとき足踏み時に得られた画像上の特徴点の数の推移を Fig.7(b) に示す。

Fig.6 から, 提案手法による推定モーメントと力センサによるモーメントの値はほぼ同様に推移していることがわかる。従って, 足平部におけるサジタル面のモーメントは特徴点の移動量から推定可能であることが検証できた。また Fig.7(a) から, 足踏み中におけるモーメントは力センサよりも提案手法の方が上下に振動しているもの

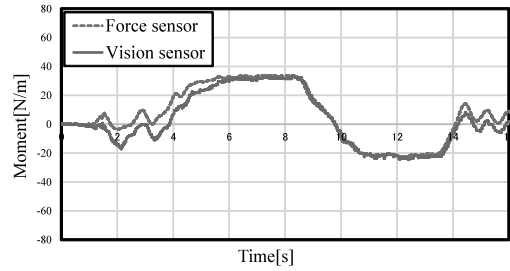
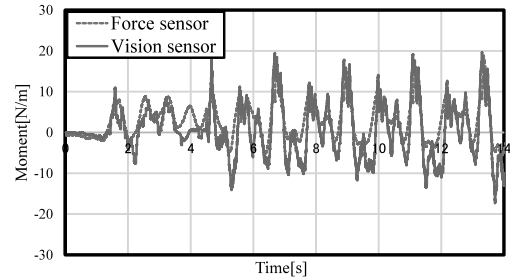
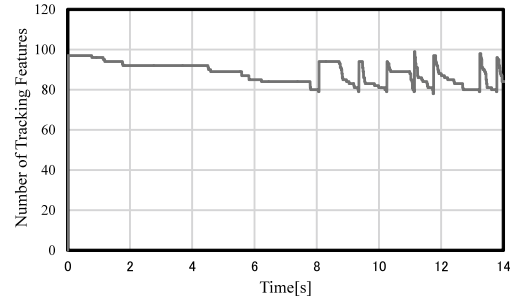


Fig. 6. 片足立ちで前後に押した際のモーメント



(a) モーメントの推移



(b) 特徴点の数の推移

Fig. 7. 足踏みした際の結果

の, おおよそ近い値が得られていることがわかる。このとき Fig.7(b) では歩行の途中で特徴点が新しく抽出されていることがわかり, 更新された後も歩行は継続して行うことができた。

5. 結論

本稿では視野画像中の特徴点からサジタル面における足平まわりのモーメントが推定可能であるかを検証した。実機実験により, 特徴点の移動量によるモーメントの推定値は力センサの値とおおよそ一致することが確認できた。また, 特徴点が一定数を下回った場合には新たに特徴点を更新することで継続的な歩行の安定化を検証した。今回は足踏みまでの検証であったため, 今後は歩行中における安定化の検証も必要である。

参考文献

- (1) N. Oda, J. Yoneda, "Experimental Evaluation of Vision-based ZMP Detection for Biped Walking Robot", IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics (ISIE2013), pp.1-6, 2013
- (2) N. Oda, J. Yoneda, "Visual Feedback Control Based on Optical Flow Vector Field for Biped Walking Robot", IEEE Int. Conf. on Mechatronics (ICM2013), pp.635-640, 2013
- (3) Jianbo Shi, Carlo Tomasi, "Good Features to Track", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.593-600, 1994