3 1 4 MATLABでのシミュレーションによる二足歩行型ロボットの滑走能力向上

Improvement of skating ability of Humanoid Robot by simulation with MATLAB

○学 常見 智史 (徳大)

正 三輪 昌史 (徳大院)

Satoshi TSUNEMI, Tokushima University, 1-1 Minamizyosanzima-cho, Tokushima-shi, Tokushima

Masafumi MIWA, Tokushima University

Key Words :Simulation, ZMP, Sliding, Accelerate motion, Torque

1. 緒言

近年様々なロボットの研究が実用化に向けて盛んになっているが、一般家庭向けロボットの実用化はペットロボットや掃除ロボットなどに限られている。ヒューマノイドロボットは人間に近い動きが可能なので、人間の生活環境に適応しやすい。だが移動手段として二足歩行は、車輪移動と比べて制御が難しく、移動速度が遅いという欠点がある。⁽¹⁾⁽²⁾

そこでヒューマノイドロボットの移動手段として、受動輪を用いた「滑走移動」を提案する。この方法により、移動能力の向上が期待できる。片足で地面を蹴ることによって加速させ、逆の足を接地させて受動輪を転がすことでロボットを滑走させる。しかし、一回の加速だけで滑走させても、地面から受ける摩擦力により長距離の滑走ができない。そこで本研究では長距離の滑走を実現させるため MATLAB を用いて連続滑走動作モデルを作成し、「連続滑走」について検討した。

2. シミュレーションモデル

本研究の対象のロボットは両脚に12自由度、全体で20自由度を持つ二足歩行型ロボットである。また、両足裏に受動輪を装着する。このロボットのシミュレーションモデルをFig. 1に示す。簡単にするため、上半身は重さのみを考慮する。

Fig. 1 Simulation model

3. 滑走動作モデル

3. 1 ZMP 姿勢制御による滑走中の安定化

二足歩行ロボットの転倒防止のため滑走中のロボットの安定化のために、ZMP 姿勢制御を用いた。ZMP (Zero Moment Point) はロボットにかかる重力と慣性力の合力のベクトルが路面と交わる点のことである。Fig.2にZMPの図を示す。片足のみ接地している場合、支持足の足裏の接地部分の範囲に

ZMPがあればロボットは転倒しない。Fig.2の場合接地している足の範囲にZMPがないのでロボットは転倒する。両足が接地している場合、接地している両足の接地部分だけでなく、両足の間にZMPがある場合もロボットは転倒しない。

Fig.2 ZMP

3. 2 滑走の力学モデル

本研究では、あらかじめ作成した動作パターンを滑走の力学モデルとしてシミュレーションを行う。「蹴り出し」でロボットを加速させ、「重心移動・蹴り脚上げ」「腰回転」「後脚接地」で両足での滑走の体勢に入る。

3. 2. 1 蹴り出し

Fig.3に示すように、最初にロボットの側面方向を進行方向とし、前脚のみ進行方向に向けてロボットを直立させる。その後、前脚を上げて後脚を開き、前脚の膝の関節を曲げた状態で前脚を着地させる。そのときに後脚で地面を蹴ることで加速をつける。後脚の開き具合により加速度が変わる。

Fig.3 Accelerate motion

Fig.4は腰の関節のトルク τ により働く力についての図である。脚の長さを L とすると、トルク τ により足裏に働く力 F は式(1)になる。また左脚が開いた角度を θ とすると、 F の水平方向の成分 F_x は式(2)になる。

$$F = \frac{\tau}{L} \quad (1)$$

$$F_x = F \cos \theta = \frac{\tau \cos \theta}{L} \quad (2)$$

足裏から地面に F_x が伝わり、その反作用の力が地面から足裏に伝わる。この反作用の力がロボットを加速させる力になる。ロボット全体の質量を M として、トルクにより発生した加速度を a とすると、式(3)になる。

$$a = \frac{F_x}{M} = \frac{\tau \cos \theta}{ML} \quad (3)$$

Fig. 4 Thrust generated by motor torque

3. 2. 2 重心移動・蹴り脚上げ

Fig.5 の①はFig.3の続きで、後脚で蹴り出している様子である。①から②のように前足上に重心を移動させて、後脚を蹴り上げて片足滑走の体勢に入る。

3. 2. 3 腰回転

Fig.5 の③のように前脚の腰の関節を 90° 回転させ、ロボットを進行方向に向ける。このとき後脚も進行方向に向ける。また、ロボットが転倒しないように前脚の足首の関節を回すことで、ロボット全体の重心が前足裏の中に収まるようにする。Fig.6 にその様子を示す。

3. 2. 4 後脚接地

Fig.5 の④のように後脚を接地させて、両足で滑走させる。両足を接地させるのは、ZMP 制御において、転倒しない ZMP の範囲が片足の場合よりも広いので、より安定した滑走ができるからである。

Fig.5 Sliding motion

Fig.6 Sliding motion 2

4. シミュレーション

4. 1 シミュレーション方法

ロボットのシミュレーションの条件として、進行方向を x 軸の正の方向とし、両脚の腰の関節を結んだ腰リンクと両足裏は常に水平にする。ロボットの右の側面を進行方向にして、前脚を進行方向に向ける。

まず、3. 2で説明した滑走の力学モデルを基にロボットの動作モデルを作成し、ロボットにかかる速度や加速度を考慮して両足裏の参照軌道を計算する。そして参照軌道を満たすロボットの各関節角度を計算し、関節角度から膝、腰の各関節の座標位置を計算する。

4. 2 シミュレーション結果

Fig.7 に片足滑走で腰をひねる動作のシミュレーションの様子を示す。

Fig.7 Simulation result

5. 結言

今回は片足滑走で腰をひねる動作のモデルを作成した。今後は、まず両足で接地させて滑走させる動作のモデルを完成させる。次に、両足とも接地させ進行方向に向けた後の連続滑走動作を考える。滑走状態のロボットに加速を加える動作も併せて考える必要がある。その後滑走中に地面を蹴るなど、連続滑走動作モデルを作成し、シミュレーション結果を実機に導入する。

参考文献

- (1) 前田 和彦, “受動輪を用いた滑走による二足歩行型ロボットの高速移動”, 2006 年度 和歌山大学大学院 修士論文
- (2) 神山 翔, 三輪 昌史, “受動輪を用いた二足歩行ロボットの滑走移動, 中国四国支部第 48 期総会・講演会講演論文集, No.105-1, pp.267-268, (2010)