

技術開発レポート

足裏を滑らせてターンする二足歩行ロボット

1. はじめに

二足歩行ロボットの方向転換という、その場脚踏みを繰り返しながら回るイメージが強いが、ROBO-ONE等では積極的に足裏を滑らせて回る動作が使われている。この動きを解析し、HRP-2⁽¹⁾に実装したので、本稿で紹介する。

足裏を滑らせた旋回動作の利点として、動作にかかる時間の短縮、ひいてはエネルギー効率の向上が挙げられる。従来研究において、足裏の滑りは歩行の安定性を奪い、転倒につながる要素として扱われることが多かった。足裏の滑りを旋回動作に応用する研究⁽²⁾⁽³⁾は現在のところ多くはなく、滑りという現象の解析を試み、等身大のヒューノイドのターン動作として実装した例はこれまでない。

2. 足の動かし方と回転量の関係

筆者らはロボットの動作と、それによって生じる回転量の関係を推定するにあたり「ロボットの足裏全体で失われるパワー（力と速度の積）を最小化するような回転が発生する」という仮定を置いた。図1の簡単なモデルを用いて説明する。初期状態で脚を前後に開いたロボットがその脚を閉じるに従い、ロボットが足裏へかける力が床からの反作用となってロボット自身の姿勢をかけた力と逆の方向に回転させる。足裏で失われるパワーは以下の式で表される。

$$W = \mu Mg \int_{-\frac{l_y}{2}}^{\frac{l_y}{2}} \int_{-\frac{l_x}{2}}^{\frac{l_x}{2}} |P - P'| dx dy \quad (1)$$

上式 P および P' には、初期状態での足の位置、最終状態でのロボットの回転角 θ が含まれている。これを最小化する θ が求める回転量となる。上式を θ で偏微分し、これを 0 とする式を解くと、式中の定数である摩擦係数 μ が消去される。これは、床面の摩擦によらず、ロボットが同じ動作をすれば同じだけの回転量が得られることを意味する。OpenHRP3⁽⁴⁾ によるシミュレーションでは、これを裏付ける結果が得られている。

また提案したモデルから予測される足軌道と回転量の関係は、シミュレーションおよび実機実験の結果と良く一致しており（図2）、モデルそのものの妥当性も確認された。

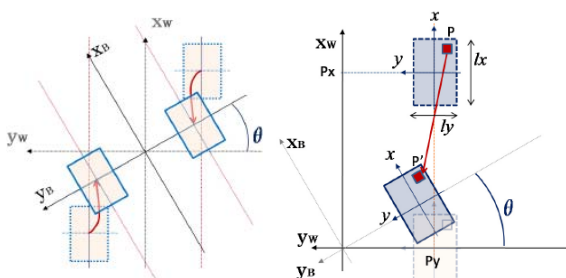


図1 足裏の軌道と回転量の説明

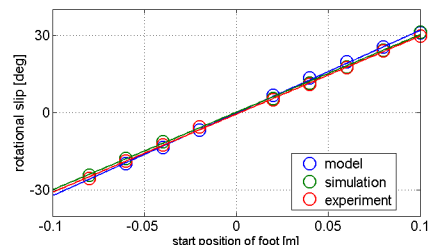


図2 足位置と回転量の関係

3. HRP-2 による 90° ターン

以上で得られた結果を基に、回転量が概ね 90° となるような足の軌道を生成し、HRP-2 に実装し実験を行った。直線歩行を行った後、図3に示すように足裏を滑らせながら旋回し、直線歩行を再開するという一連の動作を実現した。

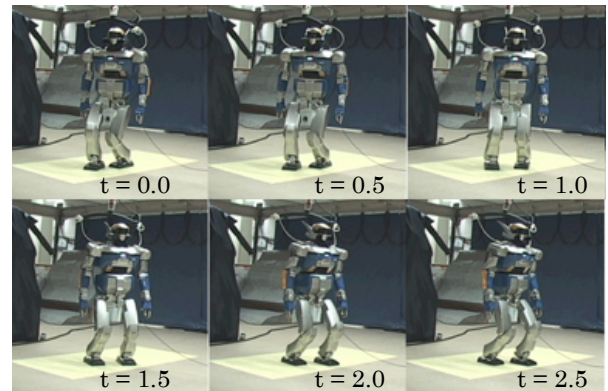


図3 HRP-2 によるターンの様子

4. まとめ

本稿では足裏の滑りを利用したロボットの旋回動作について紹介した。今回は準静的な物理モデル、すなわち慣性力よりも摩擦力による影響が回転において支配的な状況を扱った。今後は人間のようなダイナミックなターンに近づくことを目指す。

文 献

- (1) K. Kaneko, F. Kanehiro, S. Kajita, H. Hirukawa, T. Kawasaki, M. Hirata, K. Akachi, and T. Isozumi: "Humanoid Robot HRP-2," Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1083-1090, (2004-4)
- (2) 小枝正直・吉川恒夫・伊藤利達:「足の滑りを利用した二足歩行ロボットの方向転換」, 日本ロボット学会学術講演会, (2004-9)
- (3) 西川正雄: 特開 2005-238407, (2005-9).
- (4) 中岡慎一郎・山野辺夏樹・比留川博久・山根克・川角祐一郎:「分散コンポーネント型ロボットシミュレータ OpenHRP3」, 日本ロボット学会誌, Vol.26, No.5, pp.399-406, (2008-7)

三浦 郁奈子 ((独) 産業技術総合研究所)
(平成 20 年 11 月 21 日受付)