

正四面体全方向移動ロボットの走行制御

知能ロボティクス研究室

荒垣龍馬

1. 緒言

文献 [1]では、前後・左右・上下の区別が無い無方向性ロボットの概念を提案し、実験により転倒せず走行できることを示している。文献[2]では、無方向性ロボットの一種類として全方向移動可能な正四面体全方向移動ロボットを実現した。本報告では正四面体全方向移動ロボットの自動制御を行うために、ロボットの接地面となる三輪モデルの運動学モデル並びに動力学モデルを導出し、PI 制御法による直線移動の走行シミュレーションの結果を報告する。

2. 正四面体全方向移動ロボット

図 1 に開発した正四面体全方向移動ロボットを示す。本ロボットは前後・左右・上下の区別が無いため、転倒という概念すらない。例えば、A 面を底面としてオムニホイール 1・2・3 で走行する場合と、B 面を底面としてオムニホイール 1・3・4 で走行する場合は、ロボット自身がホイールを区別して制御するが、他者から見て同じ状態のように見える。

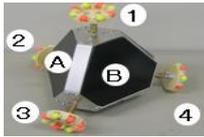


図 1. 正四面体全方向移動ロボット

3. 正四面体全方向移動ロボットの逆運動学と動力学

正四面体全方向移動ロボットの移動方法について、抽象化した 2 次元モデルとその座標設定を図 2 に示す。

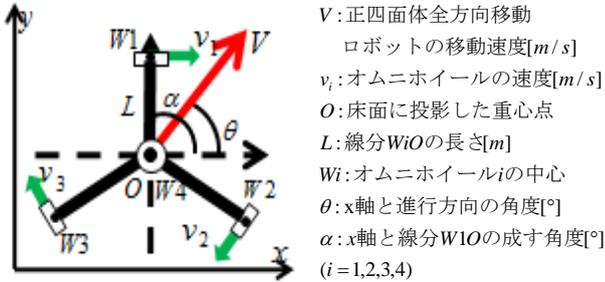


図 2. 全方向移動の 2 次元モデル

正四面体全方向移動ロボットのモデルの逆運動学式を (1) に示す。

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\alpha) & -\cos(\alpha) & -L \\ \sin(\alpha + 240^\circ) & -\cos(\alpha + 240^\circ) & -L \\ \sin(\alpha + 120^\circ) & -\cos(\alpha + 120^\circ) & -L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (1)$$

にラグランジュの運動方程式により求めた逆動力学式を式 (2) に示す。

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix} = \frac{R^2}{9L^2} \begin{bmatrix} 4ML^2 + I & I - 2ML^2 & I - 2ML^2 \\ I - 2ML^2 & 4ML^2 + I & I - 2ML^2 \\ I - 2ML^2 & I - 2ML^2 & 4ML^2 + I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\omega}_1 \\ \dot{\omega}_2 \\ \dot{\omega}_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

τ_i : オムニホイールにかかるトルク ($i=1,2,3$) [N·m]

R: オムニホイールの半径 [m]

M: 正四面体全方向移動ロボットの質量 [kg]

I: 慣性モーメント [kg·m²]

本ロボットが各面に対して対称の構造であるため接地面が変化しても、ホイールの位置と進行方向と x 軸とが成す角 α との関係を適切に設定することで、接地面が変化しても接地面と使用ホイールに応じて同様に逆運動学式・動力学式を導出することができる。

4. シミュレーション結果と考察

導出したモデルを検証するために、目標座標および目標速度の誤差をフィードバックする PI 制御法を用いてシミュレーションを行った。設定したシミュレーション条件を Table.1 に示す。シミュレーションでは接地面を A として静止した状態から走行を開始し、走行時間 t が 0.5 秒に達した時点で接地面 B に変化させて走行させた。目標経路とシミュレーションのより得られた走行軌跡を Fig.4 に示す。

表 1. シミュレーションのパラメータ

初期 x 座標 [m]	0	目標 x 軌道 [m]	$(V) \cdot t / \sqrt{2}$
初期 y 座標 [m]	0.3	目標 y 軌道 [m]	$(V) \cdot t / \sqrt{2}$
目標 x 座標 [m]	0.5	位置制御の KP [s], KI [s ²]	8, 17
目標 y 座標 [m]	0.5	速度制御の KP [kg·m/s], KI [kg·m/s ²]	5, 4
最大速度 [m/s]	0.5		

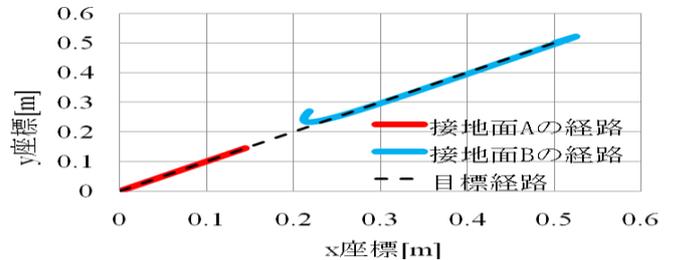


図 3. 正四面体全方向移動ロボットの移動経路

図 3 より PI 制御法を用いて良好な目標経路追従結果を得られた。また、他の接地面に変化した場合でも、姿勢センサーなどを設けて使用すべきホイールさえ検出できれば、路面状況による接地面の変化があっても、目標経路を追従できることを確認した。

5. 結言

正四面体全方向移動ロボットの走行制御モデルのシミュレーションを行い、走行中に接地面が変化した場合も目標経路追従制御が可能であることを確認した。

6. 文献

- [1] 田中秀明, 王碩玉, 河田耕一, “非方向指向性ロボット”, 第 7 回知能メカトロニクスワークショップ論文集, pp.117-120 (2002)
- [2] 光山和樹, 王碩玉 “極限環境に円滑に対応する無方向性ロボットの開発” 第 10 回知能メカトロニクスワークショップ論文集, pp.1-2(2005)