

全方向移動ロボットの開発

釧路高専 ○佐藤敦司, 梶原秀一, 荒井 誠 室工大 橋本幸男, 堀 勝博

要 旨

本研究ではオムニホイールと呼ばれる全方向移動用車輪を利用した移動ロボットを製作し、遠隔操作による全方向移動制御、自動制御によるロボットの位置制御を行った結果について報告する。

1 はじめに

「オムニホイール」と呼ばれる全方向移動用車輪はそれぞれの回転速度を独立に制御できるならば、3輪だけでも移動が可能である [1]。橋本ら [2] は3つのオムニホイールを用いた場合の全方向移動ロボットのキネマティクスを導出し、オムニホイールを受動輪として使用することにより、ロボットの位置と姿勢角を観測できるセンサとして利用できることを明らかにした。本研究では実際にオムニホイールをセンシングホイールとして持つ全方向移動ロボットを製作し、センシングホイールによる状態量をフィードバックすることにより、実際にロボットの制御が可能かどうか実験した結果を報告する。

2 システム構成

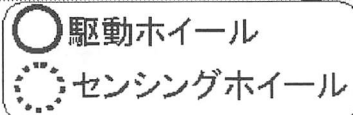
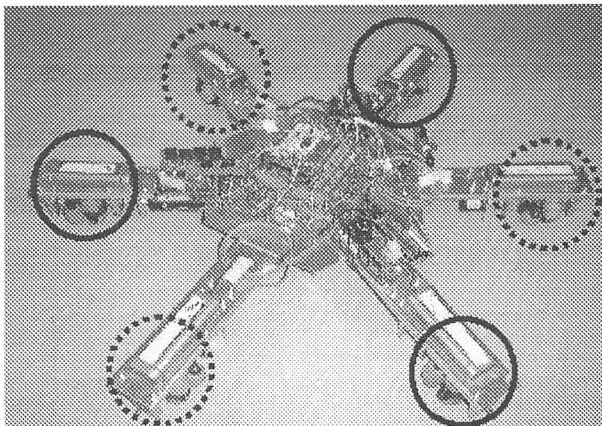


図 1: 全方向移動ロボット

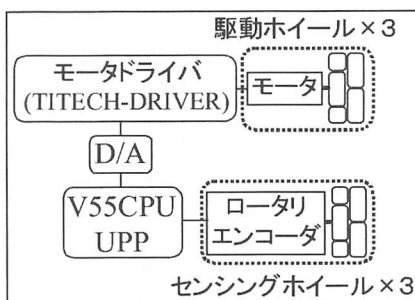


図 2: システム構成図

図 1 に製作した全方向移動ロボットを示す。本体は DC モータとオムニホイールから構成される駆動ホイールを 3 組持ち、任意の方向に移動できる。また、ロータリエンコーダとオムニホイールから構成されるセンシングホイールも 3 組取り付けられており、ロボットの姿勢角と位置を検出することができる。

図 2 に示すように、制御器にはパルスの入出力を自由にコントロールできるユニバーサルパルスプロセッサ (UPP) を搭載した V55CPU ボードを使用し、モータの制御にはタコジェネなしでもモータの速度制御を実現できるモータドライバ (TITECH-DRIVER) を使用した。以上の機器はバッテリーと共に本体に搭載され、ロボットは自立型となっている。

3 全方向移動ロボットの

のキネマティクス

図 3 に示すように座標系を設定し、ロボットの移動速度と各駆動車輪の関係を求めると以下のように表される [2]。

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{r} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{w} \quad (1)$$

ただし、

$$\dot{\mathbf{x}} = [\dot{x} \quad \dot{y} \quad \dot{\phi}]^T, \mathbf{w} = [\omega_R \quad \omega_F \quad \omega_L]^T$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \cos \phi - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \phi & \frac{1}{2} \sin \phi + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \phi & a \\ -\cos \phi & -\sin \phi & a \\ \frac{1}{2} \cos \phi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \phi & \frac{1}{2} \sin \phi - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \phi & a \end{bmatrix}$$

であり、 a は車輪の半径である。

紙面の都合上証明は省略するが、(1) 式の関係式を利用すると、センシングホイールによるロボットの姿勢角と位置を計算するための関係式も導くことができる。

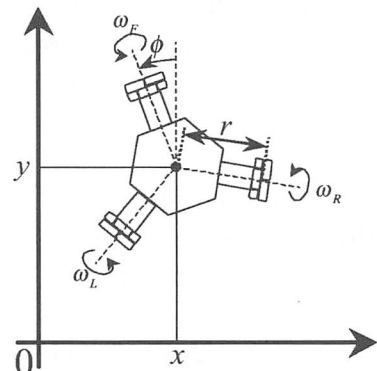


図 3: 全方向移動ロボットの座標系

4 キネマティクスを利用した制御

4.1 遠隔操作による速度制御

ここでは、指定した速度、姿勢角にロボットの状態を制御する方法について述べる。

いま、ロボットに与える目標値を $\dot{\boldsymbol{x}}_D = [\dot{x}_d \ \dot{y}_d \ \dot{\phi}_d]^T$ とし、駆動輪の角速度を次式のように構成する。ただし、 $\dot{x}_d, \dot{y}_d, \dot{\phi}_d$ は時間的に一定であるとする。

$$\boldsymbol{w} = \frac{1}{r} \boldsymbol{K} [\dot{x}_d \ \dot{y}_d \ f e]^T \quad (2)$$

ただし、

$$e = \phi_d - \phi \quad (3)$$

(2) 式で与えられる速度指令値はセンシングホイールにより姿勢角 ϕ を計測することにより簡単に実現できることがわかる。(2) 式を (1) 式に代入して整理すると

$$[\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{e}]^T = [\dot{x}_d \ \dot{y}_d \ -f e]^T \quad (4)$$

となり、上式が漸近安定となるように f を選ぶことで、 $\boldsymbol{x} \rightarrow \boldsymbol{x}_d, \boldsymbol{y} \rightarrow \boldsymbol{y}_d, e \rightarrow 0 (\phi = \phi_d)$ が実現でき、ロボットを指定した速度、姿勢角に制御できることがわかる。

4.2 実験結果

実験はラジコンの送信機を利用してロボットに速度と姿勢角の指令値を送信し、ロボットに取り付けた受信機からUPPにより指令値の情報を取り出して制御を行った。走行実験を行った結果、操縦者により姿勢角を一定に保ったままの速度制御が実現できることを確認した。

4.3 自動制御による位置制御

ここでは、コンピュータによる自動制御によりロボットを指定した位置、姿勢角に制御する方法について述べる。

いま、ロボットに次のようなダイナミクスを持たせて制御することを考える。

$$\dot{\boldsymbol{x}}_M = \boldsymbol{A}_M (\boldsymbol{x}_M - \boldsymbol{x}_D) \quad (5)$$

ただし、 \boldsymbol{A}_M は安定行列とし、 $\boldsymbol{x}_M = [x_m \ y_m \ \phi_m]^T, \boldsymbol{x}_D = [x_d \ y_d \ \phi_d]^T$ を表すものとし、さらに x_d, y_d, ϕ_d はそれぞれロボットの位置と姿勢角の目標値（時間的に一定）を表すものとする。

\boldsymbol{x}_D の時間微分がゼロベクトルになることに注意すると、(5) 式は次のように変形できる。

$$\dot{\boldsymbol{x}}_M - \dot{\boldsymbol{x}}_D = \boldsymbol{A}_M (\boldsymbol{x}_M - \boldsymbol{x}_D) \quad (6)$$

\boldsymbol{A}_M は安定行列であったから、時間 $t \rightarrow \infty$ のとき $\boldsymbol{x}_M - \boldsymbol{x}_D \rightarrow 0$ 、すなわち、

$$\boldsymbol{x}_M \rightarrow \boldsymbol{x}_D \quad (t \rightarrow \infty) \quad (7)$$

が保証される。

次に、ロボットの状態 \boldsymbol{x} を \boldsymbol{x}_M の動きに従わせる方法について述べる。ここで、誤差 $\boldsymbol{e} = \boldsymbol{x}_M - \boldsymbol{x}$ を定義し、この誤差を時間とともに指数関数的に減少させることを考え、 \boldsymbol{A} を安定行列として

$$\dot{\boldsymbol{e}} = \boldsymbol{A} \boldsymbol{e} \quad (8)$$

とする。(1)(6) 式を上式に代入すると

$$\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{e}} &= \dot{\boldsymbol{x}}_M - \dot{\boldsymbol{x}} \\ &= \boldsymbol{A}_M (\boldsymbol{x}_M - \boldsymbol{x}_D) - r \boldsymbol{K}^{-1} \boldsymbol{w} = \boldsymbol{A} \boldsymbol{e} \end{aligned} \quad (9)$$

の関係が得られる。(9) 式の関係を成立させるためには速度ベクトル \boldsymbol{w} を

$$\boldsymbol{w} = \frac{1}{r} \boldsymbol{K} \{ \boldsymbol{A}_M (\boldsymbol{x}_M - \boldsymbol{x}_D) - \boldsymbol{A} \boldsymbol{e} \} \quad (10)$$

と構成すればよいことがわかる。上式はセンシングホイールより状態量 \boldsymbol{x} を計測することにより簡単に実現できることがわかる。

4.4 実験結果

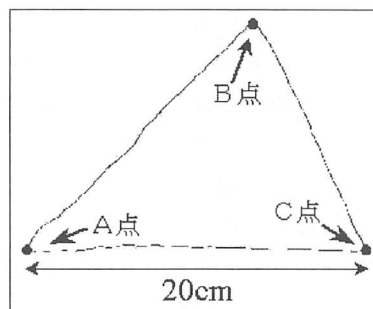


図 4: 自動制御による位置制御結果

姿勢角は $\phi_d = 0$ とし、3点 (A,B,C) の位置指令値を与えて制御したときの実験結果を図 4 に示す。図より姿勢角を変化させずに指定した位置にロボットが収束することが確認できる。

5 おわりに

本研究では、ロボットの位置と姿勢角を計測するためのセンサとしてオムニホイール利用した全方向移動ロボットを製作し、このセンサにより計測した情報を利用して、ロボットの速度制御、位置制御が実現できることを報告した。今後は、全方向移動車椅子や RoboCup に出場するロボットなどのプラットフォームとして本研究で試作した機構を応用したいと考えている。

参考文献

- [1] 浅間一他: 3自由度独立駆動型全方向移動ロボットの運動学, 第12回日本ロボット学会学術講演会, pp.367-368(1994)
- [2] 橋本幸男, 堀 勝博: ホロノミック移動機構の適応制御, 第4回知能メカトロニクスワークショップ講演論文集, pp.202-203(1999)