

## デジタル加速度制御法によるオムニホイールの摩擦の影響抑制

## Friction restraint of the Omni wheel by the digital acceleration control method

○ 大森雄介 (高知工科大) 王碩玉 (高知工科大) 姜銀来 (高知工科大)

Yusuke OMORI, Kochi University of Technology  
Shuoyu WANG, Kochi University of Technology  
Yinlai JIANG, Kochi University of Technology

**Abstract:** An omnidirectional walker is under development for the early recovery of walking ability. The omnidirectional mobility is realized by four omniwheels. However, the friction that occurs in the omniwheel leads to path tracking errors between the predefined path and running path of the walker. In this study, the influence of the friction is inhibited by using the digital acceleration controller. An experiment was conducted to show the effectiveness.

**Key Words:** All direction movement, Digital acceleration control, Omni-directional walker, Omni wheel, Walk training machine

## 1. 緒言

事故や加齢により歩行機能が低下した者のリハビリテーションを目的として、さまざまな歩行訓練器具が存在する。しかし、現在用いられている歩行訓練機器の殆どは、移動方向が前後方向に限られている。そこで、訓練がより効率的に行え、早期回復を現実にするために、全方向に移動可能な歩行訓練機<sup>(1)</sup>が開発された。

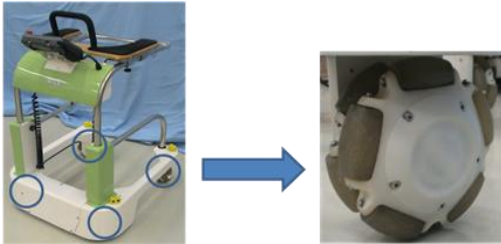


Fig. 1 Omnidirectional walker.

開発された歩行訓練機はオムニホイールを使用しており、この車輪と垂直についているフリーローラが、軸方向の力を逃がすことで、姿勢を変えず全方向移動が可能である (Fig. 1)。しかし、歩行訓練機には、走行の際に経路追従誤差が生じるという問題がある。原因として、各オムニホイールが受ける摩擦が進行方向毎に非線形かつ時変となるからである。つまり、経路追従誤差を抑えるためには、非線形な摩擦を抑制する制御が必要である。有効な制御法として、デジタル加速度制御法<sup>(2)</sup>が先行研究のシミュレーション<sup>(3)</sup>により示されている。そこで、本研究ではデジタル加速度制御を使用した全方向移動型歩行訓練機の制御の実用化を目的とする。本報告では、実験によるデジタル加速度制御の有効性を検討した結果について報告する。

## 2. 全方向移動型歩行訓練機のモデル

## 2-1 運動学モデル

運動学は、歩行訓練機の進行方向と速度から各オムニホイールの速度を求める公式である。歩行訓練機を単純化したモデルとその座標設定を Fig. 2 に示す。

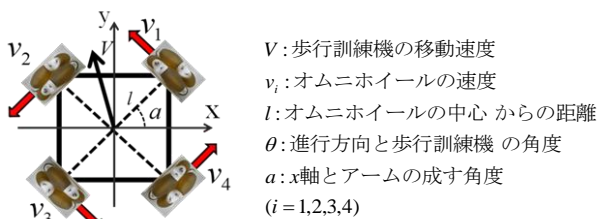


Fig. 2 Model of the Omnidirectional walker.

$V$ : 歩行訓練機の移動速度  
 $v_i$ : オムニホイールの速度  
 $l$ : オムニホイールの中心からの距離  
 $\theta$ : 進行方向と歩行訓練機の角度  
 $a$ :  $x$ 軸とアームの成す角度  
 $(i=1,2,3,4)$

Fig. 2 の歩行訓練機のモデルより、全方向移動型歩行訓練機の運動学を下の式のように表すことができる。

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin a & \sin(\frac{\pi}{2}-a) & l \\ -\cos a & -\cos(\frac{\pi}{2}-a) & l \\ \sin a & -\sin(\frac{\pi}{2}-a) & l \\ \cos a & \cos(\frac{\pi}{2}-a) & l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \dot{x}: x\text{軸方向の速度} \\ \dot{y}: y\text{軸方向の速度} \\ \dot{\theta}: \theta\text{軸方向の速度} \end{array}$$

## 2-2 動力学モデル

全方向移動型歩行訓練機の動力学を加速度と力の関係式により、下の式のように表すことができる。

$$\begin{bmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos(\frac{\pi}{2}-a) & -\cos a & \cos(\frac{\pi}{2}-a) & \cos a \\ \sin(\frac{\pi}{2}-a) & -\sin a & -\sin(\frac{\pi}{2}-a) & \sin a \\ l & l & l & l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix}$$

$f_i$ : 各オムニホイールのトルク  
 $\ddot{x}$ :  $x$ 軸方向の加速度  
 $\ddot{y}$ :  $y$ 軸方向の加速度  
 $\ddot{\theta}$ :  $\theta$ 軸方向の加速度

## 3. デジタル加速度制御

運動とは、外部から力あるいはトルクを与え物体に加速度が生じることである。そして、加速度が生じた瞬間では、速度及び位置は変化しない。本研究のデジタル加速度制御は、この運動の基本に着目して開発された。ニュートンの運動方程式に摩擦が加わった式は、

$$m\ddot{x} = F - f(x, \dot{x}) \quad (1)$$

$m$ : 質量  
 $x, \dot{x}, \ddot{x}$ : 位置, 速度, 加速度  
 $F$ : 力  
 $f$ : 摩擦力

となる。次に  $kT^+$  は時刻  $kT$  のサンプリング周期  $T$  後の時刻を示す。これを式(1)に当てはめると、

$$m\ddot{x}(kT) = F(kT) - f[x(kT), \dot{x}(kT)] \quad (2)$$

$$m\ddot{x}(kT^+) = F(kT^+) - f[x(kT^+), \dot{x}(kT^+)] \quad (3)$$

となる。  $\dot{x}(kT^+)$  と  $\dot{x}(kT)$  は瞬間的には変わらないため、(3)式から(2)式を引くと、

$$\begin{aligned} F(kT^+) = & F(kT) - m\ddot{x}(kT) \\ & + m\{\dot{x}^*(kT^+) + Kd[\dot{x}^*(kT^+) - \dot{x}(kT^+)] \\ & + Kp[x^*(kT^+) - x(kT^+)]\} \end{aligned} \quad (4)$$

$x^*$  : 目標軌道

となる。  $F(kT)$  に注目すると、この値には前時刻の摩擦の情報も入っている。従って、この値を利用することで、非線形摩擦にも対応することができる。

#### 4. 実験

歩行訓練機の座標設定は、Fig. 3に示す。この姿勢を基準の姿勢とする。

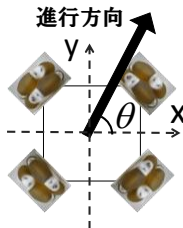


Fig. 3 Coordinates of the omnidirectional walker.

##### 4-1 速度を変化させた場合

実験はデジタル加速度制御を用い、速度の違いによる2通りの実験を行った。初期位置は原点とし、姿勢を一定でx軸、y軸方向の目標位置は共に2mの距離を、実験1では速度0.1m/sで、実験2では速度0.2m/sで走行した。その際、同一の制御パラメータを用いた。実験1の結果をFig. 4、実験2の結果をFig. 5に示す。青線は目標軌道であり、赤線は全方向移動型歩行訓練機の軌道である。

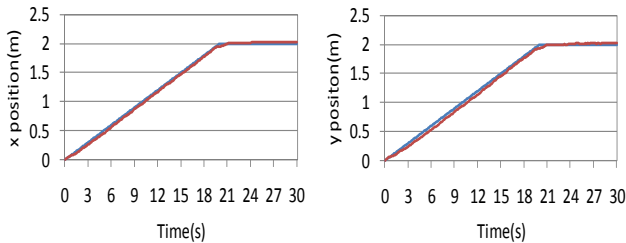


Fig.4 Experiment 1.

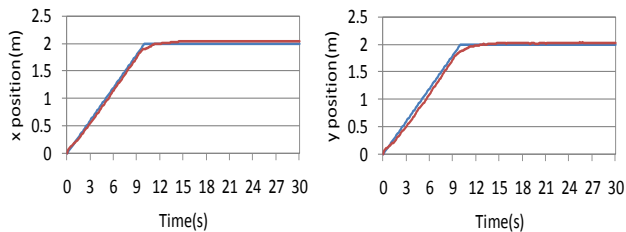


Fig.5 Experiment 2.

Fig. 4の結果より、デジタル加速度制御の、制御パラメータを調節することで、歩行訓練機の走行経路が理想経路に追従できたことが分かる。Fig. 5の結果より、速度が変化させた場合においても、追従できたことが分かる。しかし、実験2では、最後の方で少し走行経路が理想経路から外れている。これは理想経路の速度が急激に変化したため、制御が追いつかなかったことは原因であると考えられる。

##### 4-2 重心位置を変化させた場合

デジタル加速度制御を用い、実験3では歩行訓練機の前方に8kgの重りを載せ、重心位置をずらして経路追従を行った。その際、実験1と同じ目標軌道、目標距離、制御パラメータを用いた。実験3の結果をFig. 6に示す。

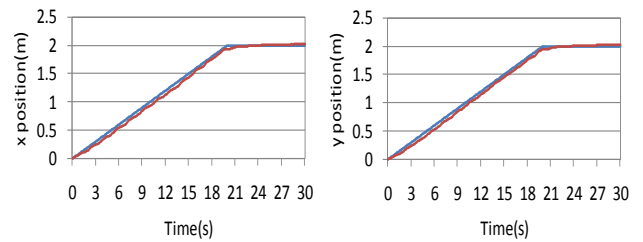


Fig.6 Experiment 3.

Fig. 5の結果より、重心位置を変化させた場合でも、デジタル加速度制御は理想経路に追従できたことが分かる。

以上より、デジタル加速度制御は、目標速度また重心位置によらず、経路追従ができることが示された。全方向移動型歩行訓練機は、歩行訓練において前後・左右・回転を含めた多様な動きを行うため、それらの動きに対応することのできるデジタル加速度制御が有効であると考えられる。

#### 5. 結言

今回は、デジタル加速度制御を用いて全方向移動型歩行訓練機の経路追従を行った。結果より、デジタル加速度制御は制御パラメータを調節せずに、速度の変化と重心位置のずれに対応することができた。デジタル加速度制御は、歩行訓練における全方向移動型歩行訓練機の制御法として有効であることが示された。

今後の展開として、デジタル加速度制御の式により、最も適切なパラメータを求めより制御の精度を上げる。

#### 参考文献

- (1) 王碩玉, 河田耕一, 井上喜雄, 石田健司, 木村哲彦: 全方向移動型歩行訓練機, 第17回ライフサポート学会学術講演会論文集, P. 48(2001),
- (2) S.Y. Wang, T. Tsuchiya, Y. Hashimoto, "The digital acceleration control method of robot manipulator," in Proceedings of the 1st Symposium on Robot Robotics Society of Japan, vol. 1, pp. 7-12, 1991. (in Japanese).
- (3) 小山裕貴: デジタル加速度制御法を用いた全方向移動, 高知工科大学修士論文 P. 18(2011)