

O2-11

無拘束歩行訓練ロボットの追従機構の開発

Development of Following mechanism for Gait rehabilitation robot system with unrestraint

○ 板谷亮介 (立命館大) 平井航 (立命館大) 野方誠 (立命館大)

Ryosuke ITATANI, Life Support Mechatronics Research Institute
Makoto NOKATA, Ritsumeikan University

Abstract: In Japan, elderly are increasingly every year, therefore elderly who have disability of gait are increasingly, also. Then, many elderly who have disability of gait train to rehabilitate gait function. Therefore, Physical Therapist (PT) to support rehabilitation has a lot of physical burdens. So, we propose the robot to rehabilitate human gait with unrestraint. This robot can support a trainee instead of PT without physical burdens.

This robot can follow a trainee using the laser range sensor and omni wheels. First, the robot measures a distance from the sensor to a trainee. Next, the robot distinguishes a trainee's position from surroundings using clustering. Finally, the robot decides four motors' number of revolutions with comparing a trainee's position and the robot's velocity vector. The robot can follow a trainee, because of this cycle.

Key Words: Rehabilitation robot, Clustering, Omni-directional function,

1. はじめに

1-1 研究背景

高齢者の増加に伴い、加齢に伴う歩行障がいのため歩行訓練を要する患者が増加している。また、歩行訓練をサポートする理学療法士 (PT) は歩行訓練の増加に伴い、PTの身体的負担が増加すると予測される。一方、歩行訓練用の福祉機器が市販されているが、吊り具によって訓練者と訓練機を拘束している。そのため、転倒そのものは起こしにくい、訓練者が自由に歩行訓練できないという課題がある。

1-2 研究目的

上記の背景をうけ、筆者らは、吊り具を用いない、無拘束で歩行訓練ができるロボットの開発を行っている⁽¹⁾。Fig1に無拘束歩行訓練ロボットのコンセプト図を示す。本報では、無拘束歩行訓練ロボットを訓練者の歩行に合わせて追従するための機構の設計・開発について報告する。

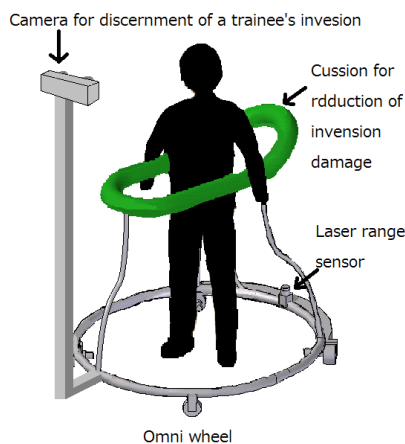


Fig1 Concept of the robot to rehabilitate human gait

2. 追従アルゴリズム

歩行訓練ロボットでは、測域センサとオムニホイールを組み合わせることで、様々な方向に動く訓練者の移動に追従する。

まず、測域センサより得られる周囲の距離情報から、訓練者の足位置情報を抽出し、訓練者の位置情報の算出を行う。次に得られた位置情報を基に歩行訓練ロボットに取り付けられている4つのオムニホイールの回転速度を調節し、訓練者の歩行に合わせて、歩行訓練ロボットが追従動作を行う。(Fig2)

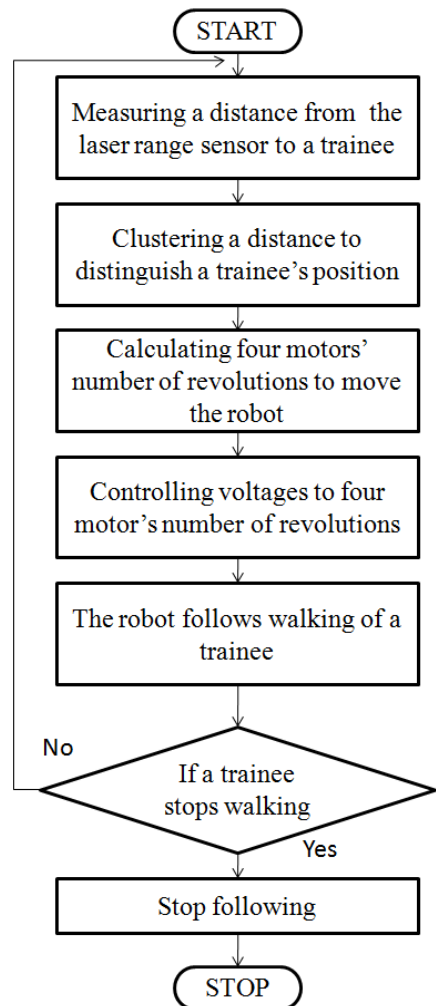


Fig2 Flow of following system

3. 訓練者足位置特定法

測域センサ(URG-04LX,北陽電機株式会社製)の取り付け位置を Fig3 に示す. 歩行訓練ロボット後下部に取り付け, 訓練者のくるぶしの位置検出ができるように取り付ける.

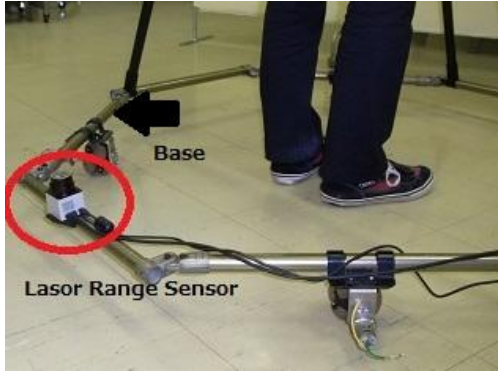


Fig3 Installation position of Laser Range sensor

得られる位置情報は訓練者の足位置情報以外に様々な位置情報を検出してしまいうため, 足位置情報のみ抽出する必要がある.

そこで, 本研究では足位置特定のためにクラスタリング手法である Nearest Neighbor 法⁽²⁾を用いてクラスタリング処理を行った. (Fig4)

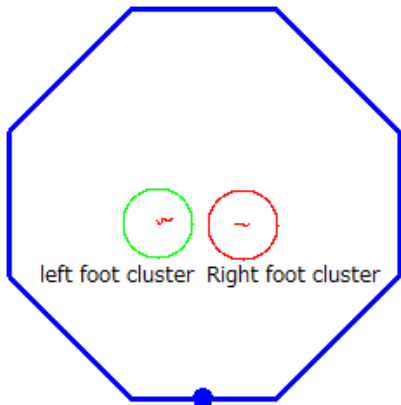


Fig4 Discernment of a position of a trainee

測域センサ取り付け位置から, 歩行訓練ロボット土台部の範囲では右足, 左足のクラスタしかないため, 左右のクラスタの位置関係から, 左右の足の識別を行うことが可能である.

また, 杖をつきながら歩行を行う杖歩行の場合, 測域センサは3つのクラスタを認識することになる. しかし, 足の太さに比べ, 杖は細く, クラスタの大きさが左右の足に比べ小さくなるため, 杖歩行時でも足の識別が可能である.

4. 追従駆動

4-1 オムニホイール

歩行訓練ロボットはDCモータにオムニホイール(ウレタンオムニ TYPE2581,株式会社 土佐電子)という特殊なホイールを取り付けることで, 4つのモータの回転数の違いから全方位への駆動が可能となる⁽³⁾. Fig5 にオムニホイールを示す.

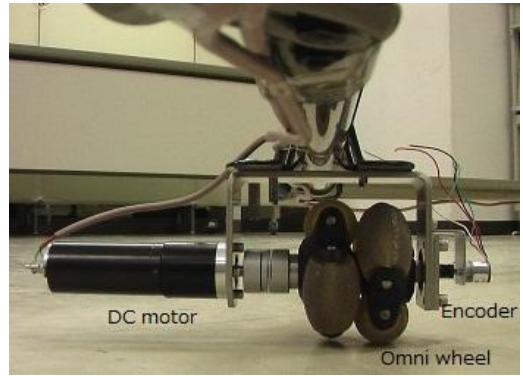
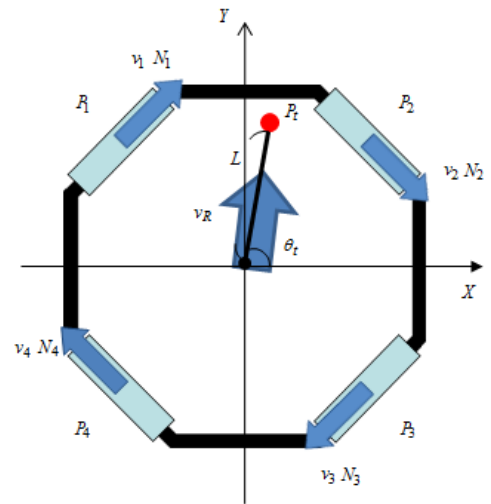


Fig5 Omni wheel with DC motor and Encoder

4-2 追従理論式

測域センサより得られた位置情報を基に歩行訓練ロボットは追従を行う. 歩行訓練ロボットの駆動方向は下記式より, 決定される (Fig6).



- P_t : Position of a trainee
- L : Distance from the origin to P_t [m]
- θ_t : Radian of a trainee [rad]
- v_R : Velocity of the robot [m/s]
- v_i : Velocity of the motor i ($i=1\sim4$) [m/s]
- N_i : Number of revolutions of the motor i ($i=1\sim4$) [rpm]
- P_i : Position of the motor i ($i=1\sim4$)

Fig6 Method for decision of four motors' number of revolutions

訓練者の位置は直交座標系において以下の式であらわされる.

$$P_t = \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L \cos \theta_t \\ L \sin \theta_t \end{bmatrix} \quad (1)$$

- P_x : X-coordinate of P_t [m]
- P_y : Y-coordinate of P_t [m]

式(1)を変形して,

$$\theta_t = \tan^{-1} \left(\frac{P_y}{P_x} \right) \quad (2)$$

を得る.

次に、歩行訓練ロボット土台部は Fig6 に示す通り、正八角形である。モータ 1~4 はそれぞれ向かい合うように設置され、原点からの距離 $|P_i|$ は全て一定である。また、モータの取り付けは土台部に対して沿うように取り付けられているため、回転によるモータの速度ベクトルは Fig4 のように位置ベクトルと直交する。モータの正転方向から Fig4 の速度ベクトルが発生する向きをモータの正転とする。

DC モータの回転数および、速度は、一般に

$$N_i = \frac{60(V_i - i_i R)}{2\pi k_e} \quad (3)$$

$$v_i = \frac{DN_i}{60} \quad (4)$$

V_i :Voltage of the motor i[V]

i_i :Current of the motor i[A]

R :Resistance of the motor[Ω]

k_e :Back-emf constant[V/(rad/s)]

D :Diameter of omni wheel[m]

となる。

また、

$$v_1 = -v_3, v_2 = -v_4 \quad (5)$$

とすると、総角運動量が 0 になるため、歩行訓練ロボットの姿勢変化を抑制することができる。

歩行訓練ロボットの速度は、

$$v_R = \sum_{i=0}^4 v_i \quad (6)$$

であるため、式(5),(6)より、

$$v_R = 2 \sum_{i=0}^2 v_i \quad (7)$$

である。式(7)を直交座標系で表記すると、

$$v_R = \begin{bmatrix} |v_R| \cos \theta_R \\ |v_R| \sin \theta_R \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} \cos \theta_A & \sin \theta_A \\ \cos \theta_B & \sin \theta_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} |v_1| \\ |v_2| \end{bmatrix} \quad (8)$$

θ_R :Radian of the robot[m]

θ_1 :Radian of the motor 1's vector (but $\theta_1 = \frac{\pi}{4}$ or $\frac{3}{4}\pi$)[rad]

θ_2 :Radian of the motor 2's vector (but $\theta_2 = -\frac{\pi}{4}$ or $-\frac{3}{4}\pi$)[rad]

となる。

式(8)を θ_R について整理すると、

$$\theta_R = \tan^{-1} \left(\frac{|v_1| \cos \theta_2 + |v_2| \sin \theta_2}{|v_1| \cos \theta_1 + |v_2| \sin \theta_1} \right) \quad (9)$$

となる。

ここで、

$$\theta_i = \theta_R \quad (10)$$

を満たす v_1, v_2 を決定することで、追従を行う。

5. 駆動検証実験

4 章記載の角度決定アルゴリズムの正当性について検証を行った。訓練者を歩行訓練ロボットの土台中心より、正面に 100[mm]、左方に 300[mm]離れた位置で静止させ、歩行訓練ロボットの動作検証を行った。訓練者、歩行訓練ロ

ボットの位置情報はモーションキャプチャソフトを用いて取得を行った。実験結果を Fig7 に示す。

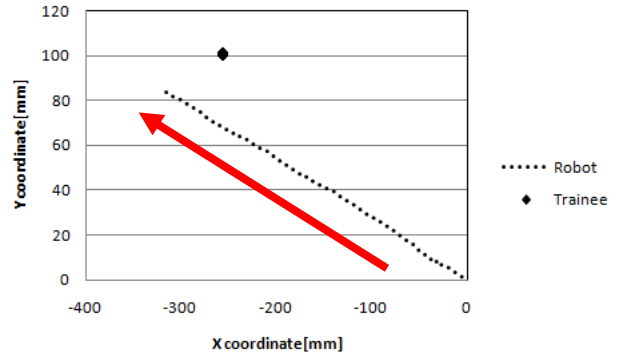


Fig7 Movement of the robot to rehabilitate human gait

Fig7 より訓練者の位置情報から各モータの回転数を算出し、訓練者の方向へと駆動していることが確認された。訓練者は原点より、158.1[deg]であるのに対し、歩行訓練ロボットの速度ベクトルは 165.6[deg]であった。駆動方向の角度と目標となる角度に差が生じた原因として、モータへ印加する電圧の分解能が低く、細かな速度調整ができなかったこと、測域センサの位置検出においてクラスタリング処理を行ったことで、足位置検出に誤差を含み、異なる目標に対して、モータの速度演算を行ったことなどが考えられる。

6. 結言

本報告では、測域センサとオムニホイールを用いた追従アルゴリズムについての報告を行った。

今後の課題として、ハードウェアの性能向上および、訓練者の位置検出を逐一行い、モータの回転数を逐一変化させるクローズドループ制御を行い、追従性に関する検討を行う。

参考文献

- (1) 平井,野方, 歩行訓練のための無拘束サポートロボットの開発, 日本ロボット学会学術講演会予稿,vol.26, ROMBUNNO.3K3-06,2008
- (2) 山中, 尺長, Nearest Neighbors識別と照明補償による少数登録画像からの顔認識, 電子情報通信学技術研究報告, vol.99, No.575(20000121),pp.25-30,2000
- (3) 木村,王,石田,井上,藤江,重心のずれを考慮した全方向移動型歩行訓練機の走行制御,日本機械学会年次講演論文集, Vol.7,pp,273-274,2009