

卒業論文要旨

歩行困難者を対象とした自立生活支援ロボットの運動制御

Motion Control of an Independent Living Support Robot for People with Difficulty Walking

システム工学群

知能ロボティクス研究室 1240062 久保 龍馬

1 緒言

今日、身体障害者の総数は年々増加しており、なかでも最も多くの割合を占める肢体障害者のおよそ半数が下肢障害者である。このような要介護者が満足に生活を行うには、介護者に対し大きな負担を強いてしまう。

そこで本研究では、歩行不自由者の生活の支援を行うことで、介護者への負担の軽減、かつ要介護者の生活の質の向上を目指し、自立生活支援ロボットの開発を行っている。しかし、生活支援ロボットを用いて移動をする際に想定する経路から外れてしまう問題が発生した。原因の一つとしては、生活支援ロボット本体の重心と使用者の重心がずれたことで、全体の重心が生活支援ロボットの想定していた重心位置からずれてしまったことが考えられる。よって本報告では、重心のずれを考慮した、生活支援ロボットの経路追従での誤差の抑制について最適制御法のひとつである LQR 制御法を用いて、シミュレーションを行うことによりその有効性を示す。

2 自立生活支援ロボットの概要

自立生活支援ロボットは、三輪のオムニホイールを搭載しており、ジョイスティックの操作などによって、全方向への移動が可能となっている。一定の速度を与えるとその方向に対して移動を続ける補助モードでは、立位の維持が困難な歩行機能障害者でも、歩行訓練機として用いることができる。



Fig.1 Independent Living Support Robot

3 三輪ロボットのモデル

重心のずれを考慮した場合の三輪ロボットのモデルを Fig.2 に示す。

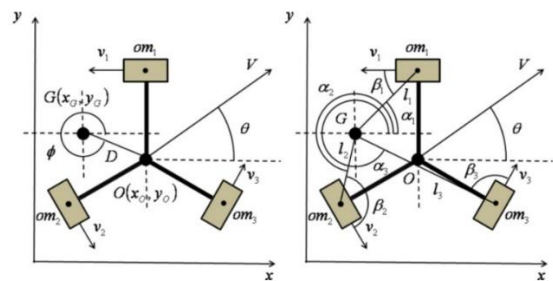


Fig.2 Model of three wheel robot

O :三輪ロボットの中心位置

G :三輪ロボットの重心位置

om_i :各オムニホイールの位置

V :三輪ロボットの移動速度

$\dot{\theta}$:三輪ロボットの角速度

v_i :各オムニホイールの移動速度

D :三輪ロボットの中心と重心との距離

ϕ : x 軸と線分 GO との距離

l_i :線分 Gom_i の長さ

α_i :線分 Gom_i と x 軸との角度

β_i :線分 Gom_i と v_i との角度 ($i = 1,2,3$)

重心位置での運動学式を(1), 中心位置での運動学式を(2)

とする. このとき K は(3)である.

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos(\alpha_1 - \beta_1) & -\sin(\alpha_1 - \beta_1) & l_1 \sin \beta_1 \\ -\cos(\alpha_2 - \beta_2) & -\sin(\alpha_2 - \beta_2) & l_2 \sin \beta_2 \\ -\cos(\alpha_3 - \beta_3) & -\sin(\alpha_3 - \beta_3) & l_3 \sin \beta_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_G \\ \dot{y}_G \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} 1 & 0 & D \sin \phi \\ 0 & 1 & -D \cos \phi \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_0 \\ \dot{y}_0 \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$K = \begin{bmatrix} -\cos(\alpha_1 - \beta_1) & -\sin(\alpha_1 - \beta_1) & l_1 \sin \beta_1 \\ -\cos(\alpha_2 - \beta_2) & -\sin(\alpha_2 - \beta_2) & l_2 \sin \beta_2 \\ -\cos(\alpha_3 - \beta_3) & -\sin(\alpha_3 - \beta_3) & l_3 \sin \beta_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

重心を自立生活支援ロボットの中心とした場合の動力

学式は(5)の通りである.

$$\begin{bmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} K^{-1} \begin{bmatrix} \dot{v}_1 \\ \dot{v}_2 \\ \dot{v}_3 \end{bmatrix} = K^T \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 & l_1 \\ -\sin \alpha_2 & \cos \alpha_2 & l_2 \\ -\sin \alpha_3 & \cos \alpha_3 & l_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \dot{v}_1 \\ \dot{v}_2 \\ \dot{v}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \alpha_1 & -\sin \alpha_2 & -\sin \alpha_3 \\ \cos \alpha_1 & \cos \alpha_2 & \cos \alpha_3 \\ l_1 & l_2 & l_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

重心を考慮した場合の状態方程式を(6), 重心を考慮しない場合の状態方程式を(7)に示す.

$$\dot{x} = A_1 x + B_1 u \quad (6)$$

$$\dot{x} = A_2 x + B_2 u \quad (7)$$

$$x = \begin{bmatrix} x_0 \\ \dot{x}_0 \\ y_0 \\ \dot{y}_0 \\ \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}, \dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x}_0 \\ \ddot{x}_0 \\ \dot{y}_0 \\ \ddot{y}_0 \\ \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix}, u = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix}$$

$$A_1 = A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ d_1 & d_2 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 \\ e_1 & e_2 & e_3 \\ 0 & 0 & 0 \\ f_1 & f_2 & f_3 \end{bmatrix}$$

$$d_i = -\frac{1}{M} \cos(\alpha_i - \beta_i) - \frac{D}{I} l_i \sin \beta_i \sin \phi$$

$$e_i = -\frac{1}{M} \sin(\alpha_i - \beta_i) - \frac{D}{I} l_i \sin \beta_i \cos \phi$$

$$f_i = \frac{1}{I} l_i \sin \beta_i$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{M} \sin \alpha_1 & -\frac{1}{M} \sin \alpha_2 & -\frac{1}{M} \sin \alpha_3 \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{M} \cos \alpha_1 & \frac{1}{M} \cos \alpha_2 & \frac{1}{M} \cos \alpha_3 \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{I} l_1 & \frac{1}{I} l_2 & \frac{1}{I} l_3 \end{bmatrix}$$

4 LQR 制御法

経路追従において LQR 制御法が使えるのではないかと考えた. LQR 制御法とは Q を半正定行列, R を正定行列として定め評価関数 J を最小にするゲインを求めることで入力決定する方法である. 式(8)に評価関数を示す.

$$J = \int_0^\infty (x^T Q x + u^T R u) dt \quad (8)$$

状態方程式を $\dot{x} = Ax + Bu$ として表すことができるとき, 次のリカッチ方程式を解くことで入力を求められる. リカッチ方程式を(9)に示す. ただし P は正定行列である.

$$\dot{P} = PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q \quad (9)$$

$$u = -R^{-1}B^T P x \quad (10)$$

5 シミュレーション

LQR 制御法を用いた自立生活支援ロボットの経路追従の有効性を検証するためシミュレーションを行う. 終点を原点とし x 軸方向への, 走行制御を行った. 重心位置は中心から y 軸方向に $-0.1[m]$ の位置とする.

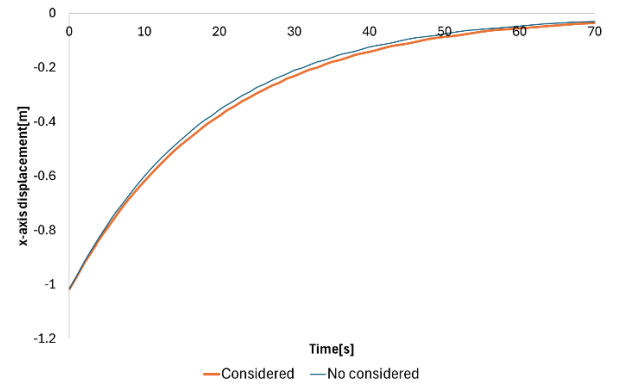


Fig.3 x-axis displacement

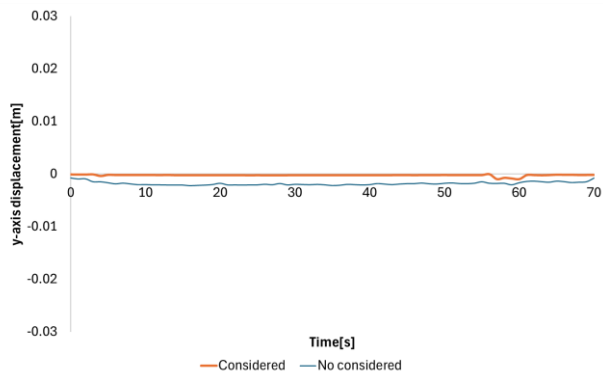


Fig.4 y-axis displacement

6 結言

本研究では自立生活支援ロボットの走行における走行経路のずれについて、LQR 制御法を用いて重心位置を考慮する場合としない場合についてシミュレーションを行い、誤差が軽減するように走行している様子は確認できたが、今後は、本プログラムの改善を行い、さらなる精度、また早い追従を目指す。

参考文献

- (1) 王 碩玉, 石田 健司, 藤江 正克, “室内移動補助も可能な新型歩行訓練機”, 日本機械学会 2009 年度年次大会講演論文集, pp283-284, 2009
- (2) 木村 彰吾, 王 碩玉, 石田 健司, 井上 喜雄, 藤江 正克, “重心ずれを考慮した全方向移動歩行訓練機のモデリング及び制御”, 福祉工学シンポジウム 2009 講演論文集, No.09-31, pp28-29, 2009
- (3) 渡辺 悠人, 王 碩玉, 三浦 直樹, 姜 銀来, 石田 健司, 藤江 正克, “重心ずれを考慮した座位歩行訓練機の走行制御” 自動制御連合講演会論文集、2010, p154
- (4) 渡辺 悠人, 王 碩玉, 譚 仁鵬, 姜 銀来, 石田 健司, 藤江 正克, “座位歩行訓練機の重心位置変化に対し適応制御を用いた走行制御”, 中国四国支部総会・講演会講演論文集, 2013, p903-1 – 903-2