

1. はじめに

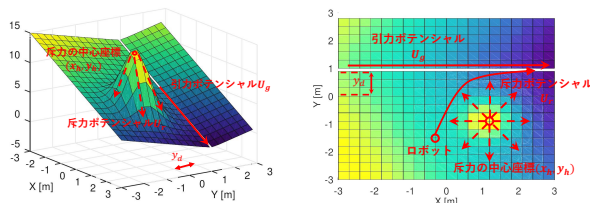
近年、自律移動ロボットは遠隔や手動による操作を必要とせず、簡単な作業・仕事をこなすことができるため、人件費の削減や業務負担の軽減などの理由により清掃・施設案内・搬送などの分野で利用されている。また現代において少子高齢化が深刻化している観点から [1]、従来の現場以外でも、自律移動ロボットが活躍する機会が増え、ロボットの需要は増加すると考えられる。自律移動ロボットが広く普及するにあたり、どのような現場でも共通する重要な課題として、目的地に自動走行する際、環境認識を行いながら、障害物や歩行者を回避することが挙げられる。

本研究では、搬送ロボットや車椅子の自動走行において、歩行者を回避する走行制御法を提案する。歩行者は移動中であると想定し、その動線を予測するモデル則を提案するとともに、移動ロボットに対して歩行者との衝突回避のための人工ポテンシャル場 [2] を提案する。この時、自律移動ロボットは光測域センサにより、壁などの周辺環境データや歩行者を計測する。

2. ポテンシャル場を用いた歩行者の回避

2.1 ポテンシャル場の概要

ポテンシャル場の例を Fig.1 に示す。ポテンシャル場は引力ポテンシャルと斥力ポテンシャルで構成される。ここで、引力ポテンシャル U_g は目標経路位置 y_d 、正の係数 α を用いて、式 (1) と表現できる。また、斥力ポテンシャル U_r は正の係数 k 、歩行者の座標 (x_h, y_h) を用いて、式 (2) と表現できる。目標経路上に引力ポテンシャル U_g を配置し、避けるべき歩行者に斥力ポテンシャル U_r を配置することで、仮に自動ロボットが Fig.1(b) のどの座標上に存在しても、回避運動を行いながら目的地に到達できる。



(a) 斜め上から見た図

(b) 上から見た図

Fig. 1 ポテンシャル場の例

$$\begin{cases} Y_j = y - y_d \\ U_g = 5 - 2x + \{Y_j + \frac{e^{-\alpha Y_j}}{\alpha}\} \\ U_g = 5 - 2x + \{-Y_j + \frac{e^{\alpha Y_j}}{\alpha}\} \end{cases} \quad (1)$$

$$U_r = e^{-\frac{(x-x_h)^2 + (y-y_h)^2}{k}} \quad (2)$$

2.2 歩行者回避シミュレーション

2.2.1 ロボットの衝突とロボットが受ける合力

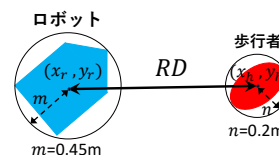
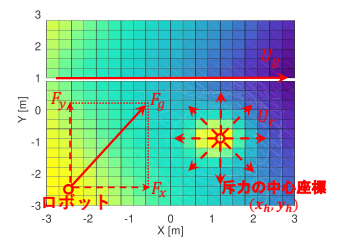
歩行者回避のシミュレーションを行うにあたり、ロボットと歩行者の相対距離を Fig.2, ロボットが受ける合力を Fig.3 に示す。Fig.2 において、ロボットと歩行者が衝突する定義を考える。ロボットを囲む円の半径を m 、歩行者を囲む円の半径を n とするならば、ロボットと歩行者の相対距離 RD が式 (2) を満たす場合に、ロボットと歩行者は衝突する。

また、Fig.3 においてロボットが受ける合力を F_g とすれば、 F_g は式 (3) である。ここで、 F_x は引力ポテンシャル U_g と斥力ポテンシャル U_r の x 成分の合計であり、 F_y は引力ポテンシャル U_g と斥力ポテンシャル U_r の y 成分の合計である。 F_x 、 F_y はそれぞれ式 (5) である。

$$RD < m + n \quad (3)$$

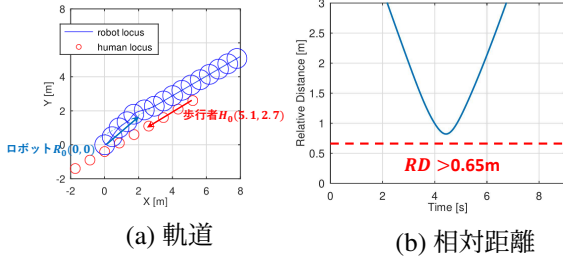
$$F_g = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (4)$$

$$\begin{cases} F_x = -\left(\frac{\partial U_g}{\partial x} + \frac{\partial U_r}{\partial x}\right) \\ F_y = -\left(\frac{\partial U_g}{\partial y} + \frac{\partial U_r}{\partial y}\right) \end{cases} \quad (5)$$

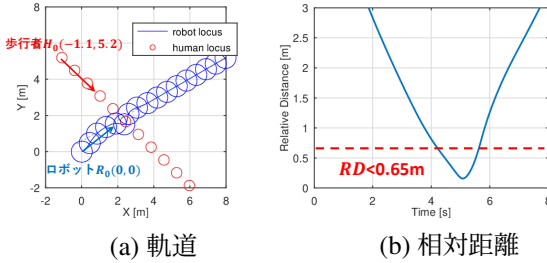
Fig. 2 相対距離 RD Fig. 3 ロボットが受ける合力 F_g

2.2.2 シミュレーション結果

人工ポテンシャル法を利用した歩行者回避のシミュレーションを Fig.4, Fig.5 に示す。Fig.4(a)を確認すると、ロボットは人工ポテンシャル法に基づき回避運動を行っていることがわかり、(b) より二者は衝突していないことがわかる。Fig.5(a)でもロボットは回避運動を行っていることがわかるが、(b) より二者は衝突していることがわかる。



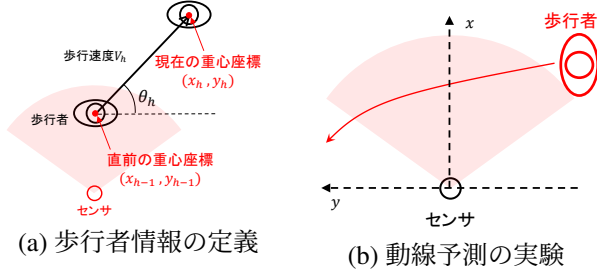
(a) 軌道 (b) 相対距離
Fig. 4 歩行者回避シミュレーション 1



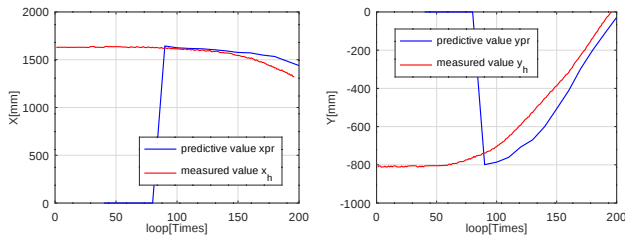
(a) 軌道 (b) 相対距離
Fig. 5 歩行者回避シミュレーション 2

3. 歩行者の動線予測

3.1 歩行者の角度と進行方向推定



(a) 歩行者情報の定義 (b) 動線予測の実験
Fig. 6 歩行者の動線予測



(a) 予測値 x_{pr} と実測値 x_h (b) 予測値 y_{pr} と実測値 y_h
Fig. 7 歩行者の動線予測

Fig.5 のような状況に対応するため、本研究では歩行者の動線予測を利用する。Fig.6(a) のように、センサで測定されたデータから歩行者の重心座標を算出できる。直前重心座標を (x_{h-1}, y_{h-1}) 、現在重心座標を (x_h, y_h) とすると、歩行者の進行角度 θ_h は以下の式 (7) で表され、この時の速度 V_h は式 (8) である。任意の t 秒後の重心座標を (x_h^t, y_h^t) とすれば、

式 (9) のように t 秒後の歩行者座標を予測することができる。なお、 t_s はセンシングタイムである。

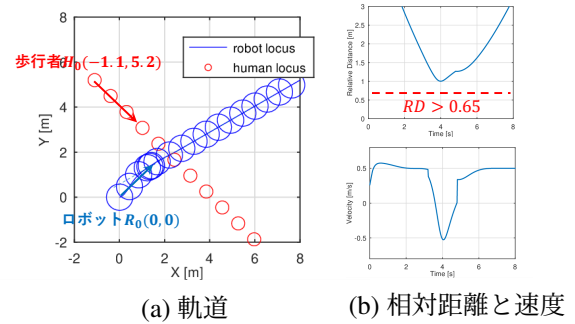
$$\begin{cases} x_{dif} = x_h - x_{h-1} \\ y_{dif} = y_h - y_{h-1} \end{cases} \quad (6)$$

$$\theta_h = \tan^{-1} \frac{y_{dif}}{x_{dif}} \quad (7)$$

$$V_h = \frac{\sqrt{x_{dif}^2 + y_{dif}^2}}{t_s} \quad (8)$$

$$\begin{cases} x_h^t = V_h \cos \theta_h \cdot t \\ y_h^t = V_h \sin \theta_h \cdot t \end{cases} \quad (9)$$

3.2 動線予測を用いた歩行者回避



(a) 軌道 (b) 相対距離と速度
Fig. 8 動線予測を用いた歩行者回避

t 秒後のロボット座標は歩行者の座標予測のように、 (x_r^t, y_r^t) として算出することが可能である。 (x_h^t, y_h^t) と (x_r^t, y_r^t) の相対距離は RD_t と表され、 RD_t が式 (10) を満たすとき、ロボットは人工ポテンシャル法により歩行者を回避できないと判断する。この場合は、ロボットの速度 v を式 (11) のようにして速度低下させることで、歩行者との衝突を回避することができる。Fig.8 は Fig.5 と初期条件は同じであるが、この手法により、ロボットの速度低下が発生し、歩行者との衝突を回避している。

$$RD_t < m + n \quad (10)$$

$$v' = v - \frac{\sqrt{\frac{\partial U_r^2}{\partial x} + \frac{\partial U_r^2}{\partial y}}}{RD_t K} \quad (11)$$

4. おわりに

本研究では、人工ポテンシャル法と歩行者の動線予測を併用した移動ロボットの回避運動制御をシミュレーション上で実現し、有用性を確認した。今後は追加シミュレーションと実機実験によって新たな問題点を探る。

参考文献

- [1] 我が国の人口について, https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_21481.html, (2023-09-28 参照)
- [2] 彌城 祐亮, 江口和樹, 岩崎聡, 山内由章, 中田昌宏: ポテンシャル法によるロボット製品の障害物回避技術の開発, 三菱重工技報 新製品・新技術特集, Vol. 51, No. 1, pp. 40-45(2014)