

人間との共存環境における移動ロボットのスムーズな運動制御

Smooth Motion Control of Mobile Robot in Human-robot Coexisting Environment

○学 片岡 良介 (中央大学) 正 池 勇勲 (中央大学) 正 梅田 和昇 (中央大学)

Ryosuke KATAOKA, Chuo University, kataoka@sensor.mech.chuo-u.ac.jp
Yonghoon JI, Chuo University, ji@mech.chuo-u.ac.jp
Kazunori UMEDA, Chuo University, umeda@mech.chuo-u.ac.jp

In order to operate service robots in a human-robot coexisting environment, smooth motion control that does not give a sensor of incongruity to the human is important. In this paper, we propose a smooth motion control method that considers human's behavior. The proposed motion control method is based on the DWA (Dynamic Window Approach) which is a widely used obstacle avoidance scheme using the optimization of several objective functions. Considering human's behavior, an additional objective function for DWA is defined to realize the smooth motion control of the mobile robot.

Key Words: Autonomous mobile robot, Dynamic Window Approach, Social Force Model

1. 序論

自律移動ロボットは、オフィスや居住空間など、人と共生する環境での活用が期待されている。これらのロボットに求められる機能として、人の存在を考慮した走行が挙げられ、その中でも特に人の回避の実現を目的とした研究が盛んに行われている。Tamura ら[1]は、人の運動モデルとして SFM (Social Force Model) [2]を用いて、人がロボットとの衝突を回避しようとしている意図を推定し、それに応じた適切な回避軌跡を生成する手法を提案した。しかし、その回避行動は左右への移動等の単純な動作のみに限定されており、周囲環境の構造情報などを考慮したより一般的な行動生成は実現されていない。

以上の問題を踏まえ、本論文では既存の移動ロボットの運動制御及び障害物回避手法の 1 つである DWA (Dynamic Window Approach) [3]に対して人の運動モデルを考慮した回避行動の機能を追加することで、人とロボットの共存環境においても人に違和感を与えないスムーズな運動制御が可能な自律走行システムを提案する。

2. DWA

2.1 DWA の概要

DWA[3]は、移動ロボットの障害物回避手法として幅広く使われている移動ロボットの制御手法の 1 つである。本研究では、非ホロノミックな特性を持つ車輪型移動ロボットの機制的拘束を想定しており、時刻 t での出力速度は、左車輪速度 v_{left} と右車輪速度 v_{right} の 2 変数をベクトルにまとめて、 $V_t = [v_{\text{left}} \ v_{\text{right}}]^T$ と表される。DWA では、候補となる V_t ごとに評価値を与える評価関数を定義し、その評価値が最も高い速度を探索して、その結果を出力速度とする。

2.2 評価関数

評価関数は $(v_{\text{left}}, v_{\text{right}})$ 平面上で定義され、その評価値を最大化する V_t を探索することで、最適な V_t を出力する。評価関数には、目的地追従の機能を持つ Heading、障害物回避の機能を持つ Clearance、並進速度の大きさを重視する Velocity が存在する。すなわち、3 つの評価関数を合成することで、それぞれの要素における特徴を反映した評価関数が得られる。合成後の評価関数を $g(V_t)$ とおく

$$g(V_t) = \alpha g_H(V_t) + \beta g_C(V_t) + \gamma g_V(V_t) \quad (1)$$

となる。ここで、 $g_H(V_t)$ 、 $g_C(V_t)$ 、 $g_V(V_t)$ はそれぞれ、Heading、Clearance、Velocity の V_t に対する評価値である。また、 α 、 β 、 γ はそれぞれ、各評価関数の合成時の重みである。

3. 移動ロボットのスムーズな運動制御

3.1 DWA の拡張

DWA では、複数の評価関数を合成することで、それぞれの持つ機能を合わせて V_t に反映している。この構造に倣い、人の動的な情報を考慮できる評価関数を新たに定義し、既存の評価関数(1)に合成したうえで出力速度を計算する。

3.2 SFM

SFM[2]は、歩行する人の運動モデルを Fig. 1 のように仮想力によって表現する。人は歩行する際、自分が行きたいと望む方向へ進みながら、障害物や人を回避する。SFM では、これらの要素を引力と斥力によって反映させている。人 A が時刻 t に受ける仮想力 $F_A(t)$ は

$$F_A(t) = F_A^0(t) + \sum_B f_{AB}(t) + \sum_W f_{AW}(t) \quad (2)$$

となる。ここで、 $F_A^0(t)$ は目的地方向から受ける引力、 $f_{AB}(t)$ は人 B から受ける斥力、 $f_{AW}(t)$ は障害物 W から受ける斥力である。

SFM を用いることで、人の未来の軌跡を予測することが可能であり、3.3 節で述べる新たな評価関数に反映させる。

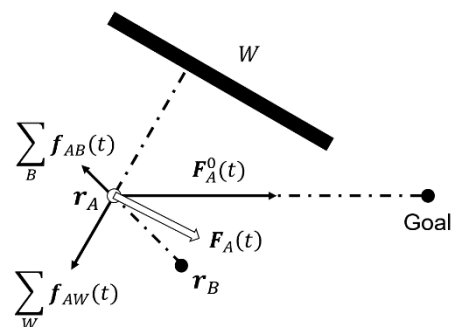


Fig. 1 Social force model acting on pedestrian A .

3.3 評価関数 Person

本研究では DWA に追加する新たな評価関数 g_p を Person と呼称する。Person では、SFM によって得られる人の未来の運動を考慮した評価値計算を行う。これにより、ロボットは歩行者がいる環境においても適切な走行を行う。Person では、以下に示す式より評価値を計算する。

$$g_p(V_t) = \max\left(\min\left(\frac{\sum_{i=1}^N d_{pre,i}}{ND_{th}}, 1\right), 0\right) \quad (3)$$

ここで、 N は予測を行うフレームの数、 D_{th} は実験的に求める定数、 $d_{pre,i}$ は i フレーム先のロボットと人の距離であり、Fig. 2のようにして算出する。 $r_{A,i}$ は人の i フレーム後の未来の位置であり、人はSFMに従って運動すると仮定して求める。 $r_{robot,i}$ はロボットの i フレーム後の未来の位置であり、ロボットは現在のフレームの V_t を維持して移動すると仮定して求める。 $d_{pre,i}$ の値は $r_{A,i}$ と $r_{robot,i}$ のユークリッド距離より算出する。

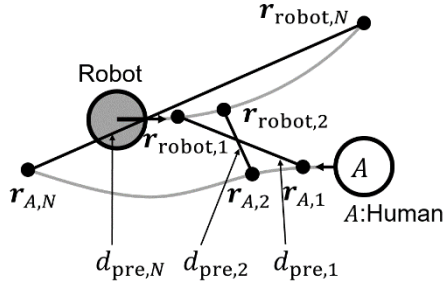


Fig. 2 Conceptual diagram of objective function "Person".

3.4 評価関数の合成

DWAの評価関数にPersonを合成し、人の未来の運動を考慮した走行の機能を追加する。合成後の評価値 $g_{new}(V_t)$ の値は

$$g_{new}(V_t) = \alpha g_H(V_t) + \beta g_C(V_t) + \gamma g_C(V_t) + \delta g_p(V_t) \quad (4)$$

となる。ここで、 δ はPerson合成時の重みである。これにより、人との共存環境においてより安全に走行可能な V_t が出力される。

4. シミュレーション実験

4.1 シミュレーションの条件

提案手法が人のいる環境におけるスムーズな運動制御を行えることを検証するために、人とロボットがすれ違う状況を想定してシミュレーション実験を行った。シミュレーションの環境は、十分に広い2枚の壁からなる廊下を想定した。廊下の右から左に向かって人が、左から右にロボットが移動している状況を仮定した。ここで、既存の評価関数 $g(V_t)$ を適用したDWAを用いて得られたロボットの軌跡を従来手法の軌跡として、 $g_{new}(V_t)$ を適用したDWAの提案手法の軌跡と比較し、どれだけ自然な回避を行えているかということを定性的に評価した。なお、シミュレーションにおける人の軌跡はSFMにより事前に生成されたものとし、従来手法の場合と提案手法の場合で同じ軌跡を用いた。

4.2 シミュレーションの結果と考察

Figure 3とFig. 4より、従来手法を使用した場合と比べて、提案手法での軌跡は人の動きに合わせて遠ざかる向きに生成されている。また、Fig. 5に示す、各時刻における人とロボットの重心位置の距離のプロットより、提案手法の方がより広い間隔を確保しながらスムーズな運動制御が実現されたことが確認できた。一方、 $t=4.5$ s付近では従来手法より人に接近しており、局所的ではあるが危険性が増しているものと考えられる。

以上のシミュレーション結果より、従来手法を用いた場合よりは比較的スムーズな走行を実現できていると言えるが、その一方で、走行中に人に接近してしまっている瞬間がある

等の問題が確認された。これらの原因としては、各評価関数の合成時の重みや、新たな評価値Personの評価値の算出で用いられる D_{th} などの定数の決定が適切でないことが考えられる。現状では、これらの値は経験則的に与えられており、最も適切な値が用いられているとは言えない。よって、改善策としては、各定数の値を、最適化などを用いて得られる適切なものを用いるということが挙げられる。

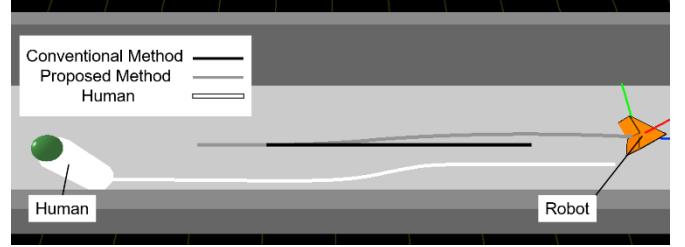


Fig. 3 Simulation environment.

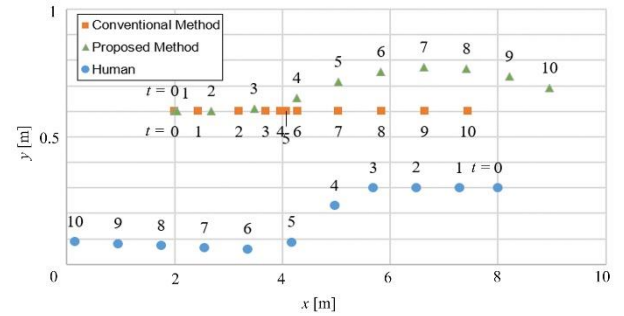


Fig. 4 Trajectories of human and robot.

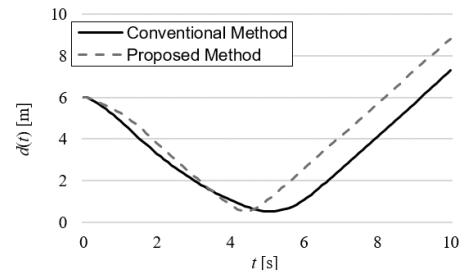


Fig. 5 Distance between human and robot.

5. 結論及び今後の展望

既存の自律移動ロボットの制御手法であるDWAを拡張することにより、人のいる環境におけるスムーズな運動制御を実現した。

今後は、最適化による定数の値の決定に加え、手法の定量的な評価方法の考案や実環境におけるの走行実験を行うことを目指す。

参考文献

- [1] Y. Tamura, S. Hamasaki, A. Yamashita, and H. Asama, "Smooth collision avoidance in human-robot coexisting environment," in *proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3887-3892, 2010.
- [2] D. Helbing and P. Molnar, "Social force model for pedestrian dynamics," *Physical review E*, vol. 51, no. 5, pp. 4282-4286, 1995.
- [3] D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun, "The dynamic window approach to collision avoidance," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 4, no. 1, pp. 23-33, 1997.