

人の回避の意図に応じた移動ロボットの運動生成

Motion generation of mobile robot according to intention of human

学 鈴木 翔太 (中央大) ○学 片岡 良介 (中央大)
正 池 勇勳 (北陸先端大) 正 梅田 和昇 (中央大)

Shota SUZUKI, Chuo University, s.suzuki@sensor.mech.chuo-u.ac.jp
Ryosuke KATAOKA, Chuo University
Yonghoon JI, Japan Advanced Institute of Science and Technology
Kazunori Umeda, Chuo University

In order to operate service robots in a human-robot coexisting environment, it is important that robots need to avoid people carefully and smoothly. In this paper, we propose a noble control method, which can generate appropriate motion for each person's behavior. The proposed motion control method is based on DWA (Dynamic Window Approach), which is used for obstacle avoidance scheme using the optimization of several objective functions. By changing the parameters of DWA based on SFM (Social Force Model) expressing human intentions, motion control considering each person's behavior is realized.

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

1. 序論

近年、様々な分野において自律移動ロボットの活用が期待されている。特にオフィスや居住空間など、人と共生する環境での需要が高まっている。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。Kataoka ら[1]は、人の運動モデルとして SFM (Social Force Model) [2]を用いて、既存の自律移動ロボットの制御手法である DWA (Dynamic Window Approach) [3]を拡張することにより、人間との共存環境におけるスムーズな運動制御を実現した。しかし、実際には人によって行動パターンが異なるため、この手法では人それぞれの動きに対して適切な運動を生成するための適応的な運動制御は難しい。また、Tamura ら[4]は、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運動生成は実現されていない。そこで本論文では、人間との共存環境における移動ロボットの運用において、DWA のパラメータを調整することにより人の回避の意図に応じた運動を生成する手法を提案する。

2. DWA

2.1 DWA の概要

DWA 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構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_{left} , v_{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 がある。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 $f(V_t)$ とおくと

$$f(V_t) = \alpha f_H(V_t) + \beta f_C(V_t) + \gamma f_V(V_t) \quad (1)$$

となる。ここで、 $f_H(V_t)$, $f_C(V_t)$, $f_V(V_t)$ 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. 移動ロボットの適応的な運動制御

3.1 DWA の拡張

通常の DWA では、各評価関数を合成する際の重みは定数であるが、人の頑固さに応じて適応的にロボットの回避行動が生成されるように各評価関数の重みを関数化する。

3.2 SFM

SFM は、歩行する人の運動モデルを仮想力によって表現する手法である。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。図 1 に SFM の一例を示す。人 A が時刻 t に受ける仮想力 $F_A(t)$ は

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

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、 $f_{AC}(t)$ は障害物 C から受ける斥力である。また、 $f_{AB}(t)$ は定数 V_{AB}^0 に依存する関数であり、 V_{AB}^0 は人の頑固さを表すパラメータである。この V_{AB}^0 の値を変えることで、様々な性格の人の運動モデルを表現可能である。 V_{AB}^0 の値が大きいほど人 B から受ける斥力は大きくなるため、人 A は人 B から離れようとする動作をする。逆に V_{AB}^0 の値が小さいほど人 B から受ける斥力は小さくなるため、人 A は人 B が近くにいっても気にも留めないような動作をする。

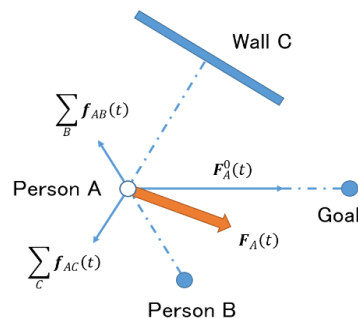


Fig. 1 Social Force Model acting on person A.

3.3 重み関数

本研究では DWA の各評価関数の重みを関数化し、その関数を重み関数として呼称する。DWA に含まれる評価関数はそれぞれ Heading, Clearance, Velocity である。これらに対し、以下に示す重み関数によりそれぞれの重みの値を計算する。

$$\alpha = \max(H_0 / \|f_{AB}\|, H') \quad (3)$$

$$\beta = C_0 \|f_{AB}\| \quad (4)$$

$$\gamma = \min(V_0 \|f_{AB}\|, V') \quad (5)$$

以上の式より、ロボットの回避する対象が頑固さの強い人の場合は、ロボットは向かってくる人を避けなければならないために Clearance の重みは大きく、Heading の重みは小さくなる。また、ロボットの回避する対象が頑固さの弱い人の場合は、ロボットは人を回避する必要がなく、目的地へ向かうために Clearance の重みは小さく、Heading の重みは大きくなる。人の頑固さに応じた回避のイメージを図 2 に示す。ここで、 H_0 , V_0 , C_0 はそれぞれの重み関数における定数であり、 H' , V' は必要最低限保証したい重みである。

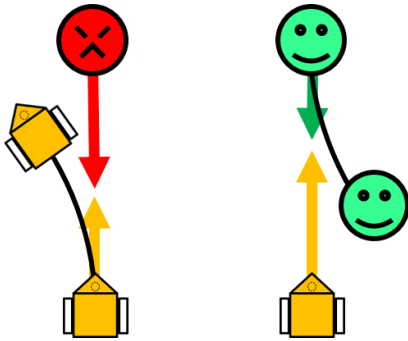


Fig. 2 Robot avoidance against human behavior.

4. シミュレーション実験

4.1 シミュレーションの条件

提案手法が様々な性格の人の動きに適応してロボットが回避を行えることを検証するために、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図 2 に示すような廊下を想定した。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、頑固さ V_{AB}^0 を変えることで数パターンの運動モデルを用意し、これに対して DWA[3], 従来手法[1], 提案手法によって移動ロボットを走行させてシミュレーションを行った。実際のシミュレーション環境の様子を図 3 に示す。 V_{AB}^0 の値が大きくなるほど、人の頑固さは小さくなる。本実験ではそれぞれの定数を $H_0=0.1$, $V_0=1.0$, $C_0=10$, $H'=6$, $V'=0.5$ に設定した。

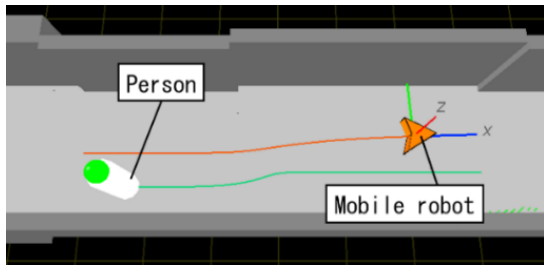


Fig. 3 Simulation environment.

4.2 シミュレーションの結果と考察

図 4, 5, 6 に示す各フレームにおけるロボットの並進速度より、人の頑固さ V_{AB}^0 に関わらず、提案手法は従来手法と DWA に比べて急激に並進速度を落とすことなく、安定して速度を維持していることが分かる。すなわち、人の回避の意図に応じたロボットの運動を生成することが可能であった。

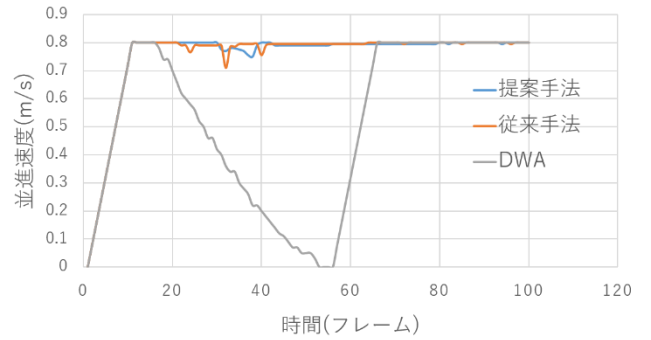


Fig. 4 Translational velocity of robot when $V_{AB}^0 = 1.0$.

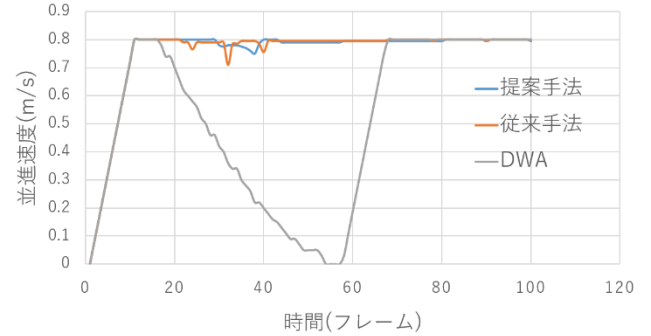


Fig. 5 Translational velocity of robot when $V_{AB}^0 = 2.0$.

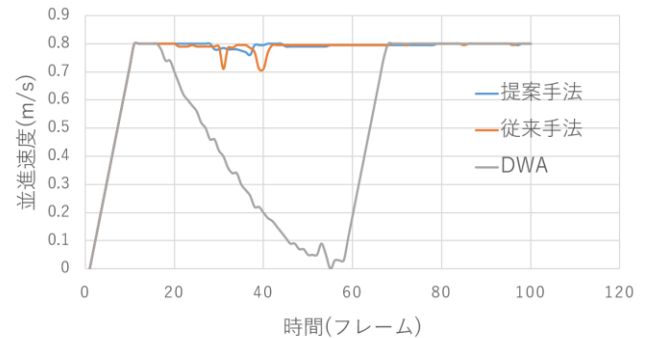


Fig. 6 Translational velocity of robot when $V_{AB}^0 = 3.0$.

5. 結論と今後の展望

既存の自律移動ロボットの制御手法である DWA を SFM のパラメータを用いて拡張することにより、様々な性格の人とロボットとの回避行動を実現した。今後は、人の頑固さの定義をより詳細に見直し、幅広く様々な頑固さの人に適応するように目指す。また、あらかじめ回避する対象の軌跡をトラッキングし、その人がどのような頑固さを持った人なのかを把握したうえで実環境においての走行実験を行うことを目指す。

参考文献

- [1] R. Kataoka, S. Suzuki, Y. Ji, and K. Umeda, "Smooth Motion Control of Mobile Robot in Human-robot Coexisting Environment," in *Proc. of the 1st IFAC Workshop on Robot Control*, pp. 468-471, 2019.
- [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.
- [4] Y. Tamura, S. Hamasaki, A. Yamashita, and H. Asama, "Smooth Collision Avoidance in Human-robot Coexisting Environment," in *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3887-3892, 2010.