

移動ロボットの動作による人間動作の誘導

Implicit Guidance of Human Movement by Movement of a Mobile Robot

○ 田村 雄介 (東大) 正 浅間 一 (東大)

Yusuke TAMURA, The Univ. of Tokyo, tamura@robot.t.u-tokyo.ac.jp
Hajime ASAMA, The Univ. of Tokyo

In human-robot coexisting environment, both humans and robots are required to estimate each other's intention and act based on the estimation. In such an environment, it is not efficient to passively estimate the human intention. The objective of this study is to develop a robot that implicitly guides a human movement by its movement. We apply the social force model to prediction of human movements. Based on the prediction, the robot selects the appropriate motion to realize a desired movement of human.

Key Words: Human-Robot Interaction, Implicit Guidance, Mobile Robot

1. はじめに

人間に対してサービスを提供するロボットの実現が望まれている。サービスロボットの多くには、人間と同じ空間で働くことが求められている。したがって、このようなロボットには作業の効率性のもとより、人間に対する安全性も強く求められることになる。人間・ロボット共存環境において、移動ロボットが安全に動作するためには、人間との衝突を回避するという機能が不可欠である。

このような人間との衝突回避については、従来、人間を移動障害物として扱うことがほとんどであった[1]。人間は転がっているボールのような単なる移動障害物とは異なり、周囲の環境およびその変化に応じて自らの行動を意識的または無意識的に変化させる。

一方、ロボットが自らの将来行動を予告することによって、人間に回避行動をとらせる研究もある[2]が、そもそも予告に気づかない場合や、気づいたとしても何らかの事情により回避行動をとれない場合などが考えられ、十分に安全とは言えない。

これらのことから、人間とロボットの間での衝突回避は、ロボット、人間の片方が行うものではなく、双方が行うものであると考えるのが妥当である。この際、人間の動作を計測し、それに対してロボットが回避を行うだけでは、ともすると本来ロボットに与えられたタスク遂行に対して非効率的な行動をとることになってしまう。また、人間の動作は非常に自由度が高く、受動的な計測のみからその動作を予測することは容易ではない。

人間・ロボット双方が衝突回避を行う状況においては、互いに相手の意図を理解することが、円滑な相互回避の実現につながる。また、相手の意図を推定する際には、相手に対して能動的に働きかけることによって相手の意図を推定し、さらには誘導することが効果的であることが知られている[3]。

そこで本研究では、移動ロボットの動作によって人間の動作を非明示的に誘導することを目的とする。これにより、人間の動作予測が容易になるとともに、人間・ロボット双方にとって効率的かつ安全な動作を実現できるようになると考えられる。

我々はこれまでに、移動ロボットの位置や動作が歩行者の回避動作にどのような影響を与えるのかについて調べてきた[4]。本稿では、従来研究で得られた知見をもとに、移動ロボ

ットの動作による人間動作の誘導手法を提案する。

2. 歩行者モデル

ロボットが人間の行動を誘導するためには、ロボット自身の動作が人間の動作に対してどのような影響を与えるのかを予測することが必要である。

本研究では、歩行者のモデルとして、Social Force Model[5]を導入し、これに基づいてロボット動作が人間に与える影響を予測する。

Social Force Model は歩行者に対して、

- 目的地から受ける引力: F_{α}^0
- 他者からの斥力: $F_{\alpha\beta}$
- 壁などから受ける斥力: $F_{\alpha B}$
- 他者や物体などから受ける引力: $F_{\alpha i}$

の4種類の仮想的な力が働くとしたモデルである。また、このモデルでは歩行者の視野の影響を考慮した重み係数 $w(e_{\alpha}, f)$ を導入している。ここで、 e_{α} は目的地への方向 (理想方向) であり、 f は歩行者に働く力である。

ここでは、他者や物体などから受ける引力は無視することとする。時刻 t において、歩行者 α に働く力 $F_{\alpha}(t)$ は、

$$F_{\alpha}(t) = F_{\alpha}^0(t) + w(e_{\alpha}, F_{\alpha\beta})F_{\alpha\beta}(t) + F_{\alpha B}(t) \quad (1)$$

と表すことができる (図1)。

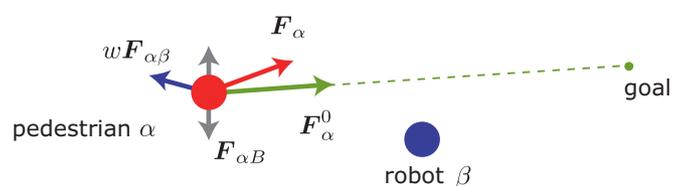


Fig. 1 Social Force Model

3. 歩行者動作の変化予測および誘導

前章で述べた歩行者モデルをもとに、歩行者動作の予測を

行い、その予測結果を利用することで、所望の誘導を行うことのできる動作を選択する。

ここでは簡単のため全方向移動ロボットを用いることを想定する。また、その動作方向は8方向に離散化し、動作スピードについては4パターン (STOP, LOW, MIDDLE, HIGH) に離散化して考える (図2)。すなわち、移動ロボットが選択しうる動作パターンは計32通りである。

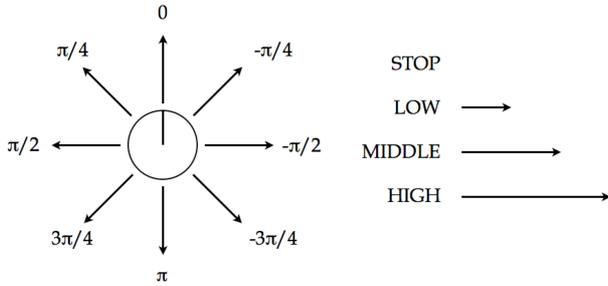


Fig. 2 Quantization of a robot movement

ここで、ロボットの動作パターンを $RP(\theta, v)$ で表す。ここで、 θ は動作方向であり、 v は動作スピードである。

Social Force Model に基づき、時刻 t における歩行者の位置および速度をそれぞれ $r_\alpha(t)$ 、 $v_\alpha(t)$ 、ロボットの位置及び速度を $r_\beta(t)$ 、 $v_\beta(t)$ とすると、ロボットから受ける斥力は、

$$F_{\alpha\beta}(t) = -\nabla_{r_\beta} V_{\alpha\beta}[b(r_{\alpha\beta}(t))] \quad (2)$$

と表すことができる。ここで、

$$r_{\alpha\beta}(t) = r_\alpha(t) - r_\beta(t) \quad (3)$$

$$2b = \sqrt{(\|r_{\alpha\beta}\| + \|r_{\alpha\beta} - v_\beta \Delta t\|)^2 - (\|v_\beta\| \Delta t)^2} \quad (4)$$

である。また、斥力ポテンシャルを、

$$V_{\alpha\beta}(b) = V_{\alpha\beta}^0 \exp(-b/\sigma) \quad (5)$$

とする。 $V_{\alpha\beta}^0$ および σ は、ポテンシャルの形状を決定する定数である。

ある時刻 s から T [s] の間、ロボットがある動作パターン $RP(\theta, v)$ を選択した場合、歩行者の動作がどのように変化するかを予測する。

いま、時刻 $s+\tau$ ($0 \leq \tau \leq T$) においてロボットの速度及び位置は、それぞれ、

$$v_\beta(s+\tau) = (v \cos \theta, v \sin \theta)^T \quad (6)$$

$$r_\beta(s+\tau) = r_\beta(s) + (v \cos \theta, v \sin \theta)^T \tau \quad (7)$$

と表せるので、これらをもとに、逐次的に式(2)~(5)が計算可能である。

また、目的地から受ける引力 F_α^0 は、

$$F_\alpha^0(t) = \frac{1}{\tau_\alpha} (v_\alpha^0(t) - v_\alpha(t)) \quad (8)$$

と定義される。ここで、 τ_α は緩衝定数であり、 v_α^0 は歩行者の理想速度である。この理想速度は、理想スピード v_α^0 、理想方向 e_α を用いて以下のように表される。

$$v_\alpha^0(t) = v_\alpha^0 e_\alpha(t) \quad (9)$$

壁などから受ける斥力 $F_{\alpha\beta}$ も同様に、

$$F_{\alpha\beta}(t) = -\nabla_{r_\beta} U_{\alpha\beta}(\|r_{\alpha\beta}(t)\|) \quad (10)$$

と表す。ここで、

$$U_{\alpha\beta}(\|r_{\alpha\beta}(t)\|) = U_{\alpha\beta}^0 \exp\left(-\frac{\|r_{\alpha\beta}(t)\|}{R}\right) \quad (11)$$

である。 $U_{\alpha\beta}^0$ 、 R は定数である。

以上より、式(1)で表される仮想的な力によって加速度 $a(t)$ が与えられると考えると、 T [s] 後の歩行者の位置は、

$$\hat{r}_\alpha(s+T) = r_\alpha(s) + v_\alpha(s)T + \int_0^T \int_0^\tau ka(s+u)du d\tau \quad (12)$$

と予測できる。ここで、 k は定数である。

上述のようにして、ロボットの各動作パターン $RP(\theta, v)$ に対して、 T [s] 後の歩行者の予測位置 $\hat{r}_\alpha(s+T; RP(\theta, v))$ が得られる。

いま、 T [s] 後に歩行者を誘導したい位置を $\tilde{r}_\alpha(s+T)$ とすると、時刻 s においてロボットが選択すべき行動 $RP(\theta, v)_s$ は、以下の式によって計算される。

$$RP(\theta, v)_s = \arg \min_{RP(\theta, v)} \|\tilde{r}_\alpha(s+T) - \hat{r}_\alpha(s+T)\| \quad (13)$$

上式をもとにロボットが動作することで、人間の動作を誘導する。

4. おわりに

本稿では、移動ロボットの動作によって人間の動作を非明示的に誘導することを目的とし、人間の歩行モデルに基づいて人間を所望の位置に誘導する手法を提案した。

今後の課題としては、提案手法を用いた実環境での誘導実験を行う必要がある。また、本提案手法はホロノミック移動可能な全方向移動ロボットを前提としているが、今後、非ホロノミック移動を前提としたロボットにも適用する必要がある。

文献

- [1] D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun, "The Dynamic Window Approach to Collision Avoidance," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, pp.23-33, 1997.
- [2] T. Matsumaru, "Experimental Examination in Simulated Interactive Situation between People and Mobile Robot with Preliminary-Announcement and Indication Function of Upcoming Operation," *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.3487-3494, 2008.
- [3] T. Omori, A. Yokoyama, H. Okada, S. Ishikawa and Y. Nagata, "Computational Modeling of Human-Robot Interaction Based on Active Intention Estimation," *Lecture Notes in Computer Science*, 4985, pp.185-192, Springer-Verlag, 2008.
- [4] 田村, 浅間, "ロボットの位置及び動作が歩行者動作に与える影響", 日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2009AC1Q1-02, 2009.
- [5] D. Helbing and P. Molnár, "Social Force Model for Pedestrian Dynamics," *Physical Review E*, vol.51, no.5, pp.4282-4286, 1995.