

人間共存環境におけるロボットからの歩行者意図の推定

Estimation of Pedestrian Intention by a Robot in Human-Robot Coexisting Environment

○ 田村 雄介 (東大) 正 浅間 一 (東大)

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

In human-robot coexisting environment, both human and robot are required to estimate each other's intention and act based on the estimation. In this study, we aim at realization of active estimation by a robot. In this paper, we propose a method to estimate pedestrian intention based on the social force model. In the model, a pedestrian moves according to resultant force of four forces, attraction of a goal, repulsion from others, repulsion from barriers, and attraction of interested objects. A robot measures own/pedestrian's position and applies them to the social force model to estimate the direction of goal.

Key Words: Human-Robot Interaction, Intention, Pedestrian

1. はじめに

人間と空間を共有するサービスロボットの実用化が望まれている。このようなロボットには、人間が存在する環境下で移動することが要求されるため、人間との衝突を回避する機能が不可欠である。人間を移動する障害物として捉え、その移動障害物を回避するロボットに関する研究は盛んに行われている (例えば[1])。

しかしながら、このような研究においては、ロボットの存在・動作が人間に与える影響が考慮されていない。人間は、転がってくるボールのような単純な移動障害物とは異なり、周囲環境の認識及びそれに基づいた行動選択を行うことのできる移動体である。したがって、移動ロボットを認識した人間自身が回避行動をとることは必然である。

一方、松丸らは移動ロボットの次動作をプロジェクトによって予告するロボットを提案している[2]。また、鮫島らは発話とジェスチャにより進行経路を人間に伝えるロボットを実現している[3]。これらの研究では、人間のみが回避行動を行うことを前提としている。

これに対して村上らは、歩行者の顔の向きに応じて回避行動を生成するか否かを決定する知的車椅子を実現している[4]。また、伊藤らは歩行者の顔の向き、重心移動方向及び足形状の観測に基づいて回避行動を生成するロボットを実現している[5]。これらの研究では、人間・ロボット双方が回避行動をとる可能性が考慮されており、人間・ロボット共存環境における適切なアプローチであるといえる。

しかしながら、これらの研究では、ロボットの動作が具体的に人間の歩行にどのような影響を与えるかまでは考慮されておらず、人間の動作を受動的に観測することにより、その意図を推定しているに過ぎない。

これに対して本研究では、ロボットが能動的に行動することにより、それに影響された人間の行動にその意図がより明確に現れると考え、ロボットによる能動的な意図推定手法の提案を目指している。具体的に本稿では、廊下環境等におけるロボットと人間のすれ違いにおける、歩行者の動作モデルを提案するとともに、歩行者モデルに基づいた歩行者意図の推定方法を提案する。

2. 能動的意図推定

ロボットが人間とスムーズなインタラクションを行うには、

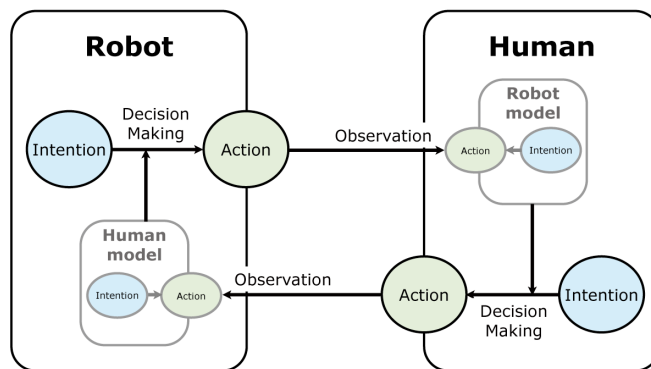


Fig. 1 Conceptual diagram of mutual active intention estimation in human-robot interaction

人間の意図を早い段階で推定することが必要になる。

しかしながら、人間の動作を受動的に観測し、そこから意図を推定するだけでは、早期の意図推定は困難である。Omoriらは能動的に人間に対して働きかけることによって、相手の意図を推定し、さらには相手の行動を誘導する、能動的意図推定のモデルを提案し、能動的な行為がスムーズなインタラクションに繋がることを示している[6]。ただし、この研究では、ロボットのみが能動的意図推定を行い、人間は受動的な意図推定しか行わないものとしてモデル化を行っている。

本研究では、人間・ロボット双方が受動的意図推定だけでなく、能動的意図推定をも扱うモデルを提案する。モデルの概念図を図1に示す。ロボットは、自らの行為によって人間の行為に影響を与える。また、人間の行為を観察し、その結果をロボット内部に持つ人間モデルに当てはめることにより、人間の意図を推定する。この推定結果と自らの意図をもとに行動決定を行い、動作する。

つまり、ロボット自身の行為が人間の意図推定に間接的に影響を与えている。本研究では、これを積極的に利用し、人間の意図を推定するための行為の実現を目指す。

3. 歩行者モデル

本章では、図1に示したロボット内部の人間モデルについて述べる。ここでは、まず歩行者のモデルとして、Helbingら

による Social force model [7]を導入する。

Social force model は、歩行者 α に対して以下のような4種類の力が働くというモデルである。ここでは、環境中には歩行者 α とロボット β のみが存在するものとして説明する。

- 目的地から受ける引力: F_{α}^0
- ロボット β からの斥力: $F_{\alpha\beta}$
- 壁などの障害物からの斥力の合力: $F_{\alpha b}$
- 他者や物体などからの引力: $F_{\alpha i}$

ただし、他者や物体などからの引力に関しては本稿では扱わない。

また、歩行者の視野の影響を考慮するために、目的地への方向(理想方向) e_{α} と、歩行者から見たロボットの相対位置 $r_{\alpha\beta}$ の関係に基づいて、以下のような式で表される重み付けを行っている。

$$w(e_{\alpha}, r_{\alpha\beta}) = \begin{cases} 1 & \text{if } e_{\alpha} \cdot r_{\alpha\beta} \geq \|r_{\alpha\beta}\| \cos \varphi \\ c & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 c は $0 < c < 1$ を満たす定数であり、 φ は視野角度を表す定数である。

以上より、時刻 t において歩行者 α に働く合力 $F_{\alpha}(t)$ は、

$$F_{\alpha}(t) = F_{\alpha}^0(t) + w(e_{\alpha}, r_{\alpha\beta})F_{\alpha\beta}(t) + F_{\alpha b}(t) \quad (2)$$

と表すことができる。

4. 歩行者モデルに基づく意図推定

前章で提案したモデルに基づき、歩行者の意図を推定する。ここで、歩行者の意図とは、その目的地であるとする。また、ここでは、ロボットは自己位置を取得可能であり、レーザレンジファインダ等のセンサにより、一定範囲内に存在する歩行者の位置を計測するものと仮定する。また、環境の形状は既知とする。

時刻 t における歩行者 α の位置がわかると、ロボット β 自身が歩行者 α に与える斥力 $F_{\alpha\beta}(t)$ をモデルに従って計算することができる。同様にして、壁などの障害物からの斥力の合力 $F_{\alpha b}(t)$ についても計算が可能である。

式(1)からわかるように、視野の影響を表す重み w の計算には歩行者およびロボットの位置だけではなく、歩行者 α の理想方向 e_{α} が必要となる。

しかしながら、理想方向を直接知ることはできない。そこで、ここでは時間 T の間に歩行者が進んだ方向を理想方向であると推定する。すなわち、以下のようにして、理想方向を推定する。

$$\hat{e}_{\alpha 1} = \frac{r_{\alpha}(t) - r_{\alpha}(t-T)}{\|r_{\alpha}(t) - r_{\alpha}(t-T)\|} \quad (3)$$

また、位置情報から時刻 t における歩行者 α の速度および加速度を計算することによって、モデル上で歩行者 α にどのような力 $F_{\alpha}(t)$ が加わっているかを導出可能である。

したがって、歩行者の位置、速度、加速度を用いることで、式(2)から、モデル上での目的地への引力 $F_{\alpha}^0(t)$ を推定することが可能である。

Social force model においては、目的地への引力は以下のように定義されている。

$$F_{\alpha}^0(t) = \frac{1}{\tau_{\alpha}} (v_{\alpha}^0 - v_{\alpha}(t)) \quad (4)$$

ここで、 τ_{α} は、目的地方向への引力の大きさを決定する定数であり、 $v_{\alpha}(t)$ は、時刻 t における歩行者 α の速度である。また、 v_{α}^0 は、理想速度であり、これは理想方向 e_{α} を用いて、

$$v_{\alpha}^0 = v_{\alpha}^0 e_{\alpha} \quad (5)$$

と表される。ここで、 v_{α}^0 は理想スピードであり、これは既知としている。

したがって、以下の式(6)を用いて、歩行者 α の理想方向を推定できる。

$$\hat{e}_{\alpha 2} = \frac{\tau_{\alpha} F_{\alpha}^0(t) + v_{\alpha}(t)}{v_{\alpha}^0} \quad (6)$$

ここで、式(3)および式(6)において、どちらも理想方向の推定を行っている。

本研究では、過去の移動軌跡からの推定結果 $\hat{e}_{\alpha 1}$ と、歩行者モデルを逆計算することによって得られた $\hat{e}_{\alpha 2}$ の単純平均をとることで、式(7)のように理想方向を推定する。

$$\hat{e}_{\alpha} = (\hat{e}_{\alpha 1} + \hat{e}_{\alpha 2})/2 \quad (7)$$

前述したように、理想方向とは現在位置から目的地への方向である。したがって、以上のプロセスにより歩行者の目的地方向を推定することができる。

5. おわりに

本稿では、能動的に人間の意図推定を行うロボットを実現するために、ロボット内部に搭載する歩行者モデルを提案した。また、歩行者モデルに基づいた意図推定の方法について提案した。

今後の課題としては、提案した歩行者モデルの妥当性を検証するために、実際の人間の歩行を計測し、モデルと比較する必要がある。また、歩行者モデルに基づく意図推定手法の有用性についても実験により検証する必要がある。その上で、ロボットの能動的な行為による意図推定の機構を実現したい。

文 献

- [1] 山本健次郎, 柄川索, 一野瀬亮子, 玉本淳一, 細田祐司, 李在勲, 坪内孝司, 油田信一, “人間共生ロボット “EMIEW” の衝突回避ナビゲーション”, 第24回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, 1L23, 2006.
- [2] 松丸隆文, 干場祐, 平岩慎司, 宮田康広, “プロジェクトを用いて次の動作を予告表示する機能を持つ移動ロボットの開発”, 日本ロボット学会誌, vol.25, no.3, pp.410-421, 2007.
- [3] 鮫島萌, 石井健太郎, 今井倫太, “スムーズに人間とすれ違うためのロボットインタラクション”, 情報処理学会第70回全国大会, 4, pp.295-296, 2008.
- [4] 村上佳史, 久野義徳, 島田伸敬, 白井良明, “知的車椅子のための歩行者の顔の観察に基づく衝突回避”, 日本ロボット学会誌, vol.20, no.2, pp.206-213, 2002.
- [5] 伊藤明久, 今井順一, 金子正秀, “対向者の歩行動作の観測と予測に基づくロボットの自律的すれ違い”, 情報科学技術フォーラム (FIT2008), pp.511-512, 2008.
- [6] 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.
- [7] D. Helbing and P. Molnár, “Social Force Model for Pedestrian Dynamics,” *Physical Review E*, vol.51, no.5, pp.4282-4286, 1995.