

## すれ違い行動決定過程に基づく協調行動エージェントのモデル化

Modeling of Cooperative Behavior Agent Based on Collision Avoidance Decision Process

渡邊紀文\*<sup>1</sup>

Norifumi Watanabe

吉岡裕彬\*<sup>2</sup>

Hiroaki Yoshioka

宮本賢良\*<sup>2</sup>

Kensuke Miyamoto

\*<sup>1</sup>東京工科大学

Tokyo University of Technology

\*<sup>2</sup>慶應義塾大学

Keio University

Recent years, It is popular that robots are used at home such as cleaning task, and there are a lot of researches about cooperative behavior of robots or interpersonal. In order to realize cooperative tasks with us, it is necessary that a robot estimates the intention from human behavior and act in the context.

In this research, we construct an agent model that enables coordinated behavior by estimating human intention. We targeted collision avoidance as an example of a simple cooperative behavior. We have set a agent of meta-strategy model to a virtual environment. We analyzed subject's behavior, when the agent has changed the behavior strategy. It was confirmed that the behavior of the agent can influence the avoidance behavior from experimental results. By indicating the intention of agents, we consider it is possible to achieve cooperative collision avoidance.

## 1. はじめに

家庭などの日常生活の場にロボットが普及するに従い、ロボットが提供するサービスが向上し、今後人と協調して作業を行う機会が増加すると考えられる。このような人との協調作業を実現するためには、ロボットが人の行動から、その背後にある人の意図を推定し、それに応じた行動をとる必要がある。

そこで本研究では、人の意図を推定することで協調行動を可能にするエージェントの実現を目指す。具体的には協調行動の単純な例の一つとしてすれ違い回避行動を取り上げ、仮想環境である SIGVerse[SIGVerse] 上に、メタ戦略モデル [Yokoyama 09] の考え方を持たせたエージェントを設定し、その行動戦略を変化させた時に人の行動がどのように変化するかについて分析する。更に、どのような行動戦略が人の協調行動を創発するのかについて検討する。

## 2. ロボットとのすれ違い行動

環境情報を利用して障害物を回避する経路探索の研究として、周辺の障害物からの斥力と目的地への引力をスカラー量であるポテンシャルとして表現することで、障害物に接触しない経路を探索する研究 [Kitamura 96] が行われている。同様に周辺からの影響をベクトルとして表現することで進行方向を決定するアルゴリズムも複数報告されている [Hinchey 05][Mastellone 11]。移動しない障害物を回避する経路探索手法として、コンフィギュレーション空間法 [Hara 93] も提案されている。これはロボットと障害物が重なる空間をあらかじめ除外しておくことで、ロボットの移動を点の移動として扱うことにより経路探索を行う方法である。ただしこれらの研究では、環境に自律的に存在する他者の意図は重要視されていない。

また自律ロボットを実装することで歩行者とのすれ違いや追従を行い、その移動軌跡を評価する研究もある。パーソナルスペースに注目しロボットがもっともらしい軌跡で移動する研究 [Yoda 99] や、カルマンフィルタを用いて歩行者の位置を推定する研究 [Nakano 04]、人の主観的な評価によって日常生活の

場にあふさわしい移動方法を検討する研究 [Yoda 00] などがある。本研究でも人の行動を計測し、さらに人の意図を推定してエージェントの行動を決定することが協調行動の重要な要素であると考えている。

## 3. メタ戦略モデルに基づいたすれ違い行動計測実験

メタ戦略とは表面的な行動決定の背後にある戦略であり、人はこのメタ戦略に基づいて戦略を決め、その戦略に意図推定モデルを適用することで行動を決定している。メタ戦略には受動的戦略と能動的戦略があり [Yokoyama 09]、受動的戦略は観察をもとに他者の意図を推定し、それを考慮して自身の意図を決定、それを達成するための行動をとる。一方能動的戦略では、まず自身の達成したい目標を意図として決定し、その意図を達成するためにどのような振る舞いをすれば他者が自身の意図を確実に推定してくれるのかという事を、自分自身の意図推定モデルと照らし合わせて決定し、他者に見せるべき行動を決定する。影響を受けた他者の意図は他者の行動にも影響するため、振る舞いによっては他者の行動を誘導することも可能になる。すれ違いにおける協調行動では、エージェントが対向者の回避方向を推定し、それとは逆の方向へ回避するというエージェントの意図を対向者に提示する、能動的戦略が重要であると考えられる。そこで本研究では、能動的戦略に基づいたエージェントの振る舞いが、人の行動にどのような影響を与えるのかについて分析する。

## 3.1 実験内容

実験では仮想環境である SIGVerse を利用し、Microsoft Kinect により計測した被験者の人モデルとエージェントが SIGVerse 空間内にてすれ違い行動を行う (図 1)。被験者にはヘッドマウントディスプレイ (Video Eye-wear Wrap1200) を装着させ、SIGVerse 内の人モデル視点の映像を提示した。Wrap1200 には専用の角加速度センサが付属しており、ヘッドマウントディスプレイがどのように回転したかという情報を得ることができる。この情報を用いて SIGVerse 内の人モデルの首の角度を回転させた。また、首以外の身体各関節の動きは Kinect を用いて人モデルに反映した。Kinect には計測範囲の

連絡先: 渡邊紀文, 東京工科大学コンピュータサイエンス学部,  
東京都八王子市片倉町 140-4-1, watanabenr@stf.teu.ac.jp

限界があるため、人モデルの移動は左右方向のみ実際に計測した値で移動し、進行方向は SIGVerse 内を一定の速度で進み、被験者は足踏みをする事で歩行感を得るようにした。なお実験開始時の被験者と Kinect の距離はおよそ 3m とした。

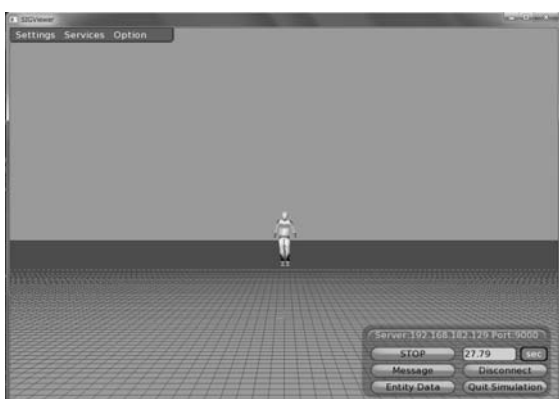


図 1: 被験者視点から見たエージェントの初期配置

エージェントの行動は、直進および左右移動時のそれぞれの人の歩行動作を読み込み、歩行時の軌道が二足歩行ロボットとして不自然にならないように、回避行動は読み込ませる動作の切れ目である立脚または遊脚の時点で行うようにした。エージェントの行動パターンとして、被験者の行動にかかわらず直進、被験者が回避する方向を確認し回避、被験者が回避する前に回避の3つを用意した(図2)。なおロボットが先に移動する際は、予備実験から歩行開始から5秒後にエージェントが移動するように設定した。

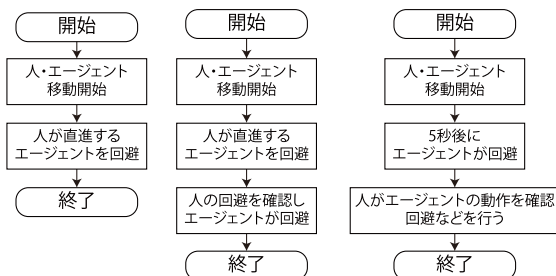


図 2: すれ違い行動実験の流れ

回避行動パターンは進行方向から 30 度避ける行動と、進行方向から 60 度移動し進行ルート上から大きく避ける行動の2種類を用意した。人モデルの進行方向への速度と、エージェントの移動する速さは一定とし、SIGVerse 内の座標系を 45/秒の速さで進む。

### 3.2 実験結果

被験者が回避する方向を確認した後にエージェントが大きく回避行動をとった時と、被験者が回避する前にエージェントが大きく回避行動をとった時の、被験者の左右方向への移動距離を図3に示す。結果は20代の男性被験者4人に対し5試行ずつ計測した平均である。実験では被験者はエージェントと逆方向へ移動し、エージェントと同じ方向へ、より大きく前を横切るように回避する例はみられなかった。

Y軸の値はSIGVerse内の座標系の値であり、左右方向への移動距離は、すれ違いにおいて被験者が左右に移動した最大値

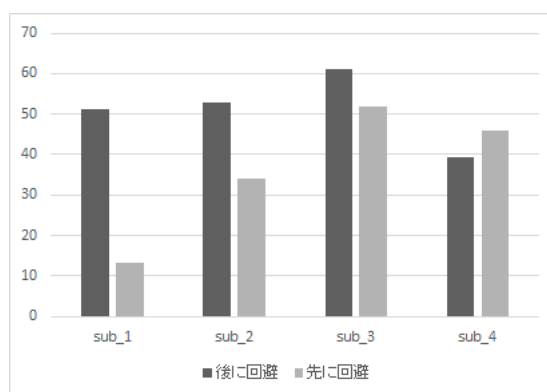


図 3: すれ違い時の被験者の左右方向の移動距離。「後に回避」は被験者の行動を確認した後にロボットが回避し、「先に回避」は被験者が行動する前にエージェントが回避する。

である。実験結果から、エージェントが被験者が回避する前に大きく回避行動を取った場合には、回避する方向を確認した後に行動した場合に比べ左右方向の移動距離が短くなるという結果が得られた。なお、直進した場合や、回避する角度を 30 度と小さくした場合の距離は、被験者の行動を確認した後に大きく回避した時の距離とほぼ変わらない値であった。なお sub4 のようにそれぞれの条件でほぼ同程度の移動距離の被験者も見られ、異なる戦略での移動距離には個人差があると考えられる。

### 3.3 考察

今回の実験結果から、被験者が回避方向を判断する前にエージェントの行動を提示することで、被験者の左右方向への移動距離が変化し、回避行動に影響を与えることが出来た。このことから、すれ違い時の対向者は能動的戦略に基づいたエージェントの振る舞いを認識し、誘導を伴うことでエージェントとの協調行動を実現できると考えられる。

しかし、被験者によってはその影響が明確に見られない場合もあるため、今後その条件を満たすためのパラメータの分析が必要である。

## 4. まとめ

すれ違い行動において、エージェントの行動をメタ戦略の考え方に基づいて変化させることで、エージェントの振る舞いが人の回避行動に影響を与えることが出来ることが示された。これにより、エージェントが対向者の回避方向を推定し、エージェントの意図を対向者に提示することで、協調的なすれ違いを実現することが可能であると考えられる。

今後はエージェントのすれ違い行動の意図を明確に伝えるためのパラメータを分析し、更に人のメタ戦略を切り替えることが可能な状況を設定することで、エージェントに必要なメタ戦略を明らかにする。

## 参考文献

[SIGVerse] 社会的知能発生学研究会, SIGVerse, <http://sigverse.org/sigverse/main/>

- [Yokoyama 09] 横山絢美, 大森隆司, "協調課題における意図推定に基づく行動決定過程のモデル的解析", 電子情報通信学会論文誌, vol.J92-A, no.11, pp.734-742 (2009).
- [Kitamura 96] 北村喜文, 田中貴秋, 岸野文郎, 谷内田正彦, "octree とポテンシャル場を用いた三次元環境での経路探索", 日本ロボット学会誌, vol.14, no.8, pp.1186-1193 (1996).
- [Hinchey 05] Michael G Hinchey, James L.Rash, Walter F.Truszkowski, Christopher A.Rouff, "Two Formal Gas Models for Multi-agent Sweeping and Obstacle Avoidance", Formal Approaches to Agent-Based Systems, pp.111-130 (2005).
- [Mastellone 11] Silvia Mastellone, Dusan M.Stipanovic, Christopher R.Graunke, Koji A.Intlekofer, Mark W.Spong, "Formation Control and Collision Avoidance for Multi-agent Non-holonomic Systems:Theory and Experiments", The International Journal of Robotics Research, pp.1037-1071 (2011).
- [Hara 93] 原功, 長田正, "Con-  
guration 空間法における障害物記述に関する考察", 日本ロボット学会誌, vol.11, no.2, pp.255-262 (1993).
- [Yoda 99] 依田光正, 塩田泰仁, "人間とすれ違い行動を行う移動ロボットの研究", 日本ロボット学会誌, vol.17, no.2, pp.202-209 (1999).
- [Nakano 04] 中野広樹, 下脇克友, 片山明伯, 渡邊睦, "カルマンフィルタを用いた足位置予測に基づく人物追跡自律移動ロボットの研究", 情報処理学会研究報告, CVIM, コンピュータビジョンとイメージメディア, vol.2004, no.113, pp.9-16 (2004).
- [Yoda 00] 依田光正, 塩田泰仁, "主観的評価に基づく移動ロボットのすれ違い行動アルゴリズム", 日本機械学会論文集, vol.66, no.650, pp.156-163 (2000).