

自律移動ロボットにおける手つなぎポテンシャルを用いた並走・縦走制御

綿貫 貴文 金子 正秀

電気通信大学

1. はじめに

サービスロボットが共通して持つべき能力として自律移動能力が挙げられる。移動型サービスロボットが行うタスクの一つとして、ユーザーに同行しながらの移動が考えられる（必要に応じてユーザーへの寄り添い、手つなぎを行う）。

手をつないでの同行移動を行う際には、同行者と並走するだけでなく、通路や歩道といった環境において、対向歩行者とすれ違う際には並走と縦走を切り替えることが必要となる。なお、手つなぎとしては、実際に手をつなぐ場合だけでなく、仮想的に手をつなぐ（手をつなげる距離にいる）場合を含めて考える。

本論文ではロボットと人が手をつないで移動することを目的とした手つなぎポテンシャルを提案し、同行移動と周囲の歩行者との衝突回避が可能であることを示す。

2. 手つなぎポテンシャル

手つなぎポテンシャルでは、同行者の持つ引力場の強さや位置を動的に変化させることによって、同行者の属性や周囲の状況を考慮した自然な同行移動を行わせることを目的としている。

同行者とロボットとの距離は、手をつなぐことができる距離を基準として、同行者の属性や周囲の状況に応じて最適な距離を選択する。同行者からの方向は、自然に手をつなぐことができる真横を基準として、同行者の属性、周囲の状況に応じて変化させる。具体例としては周囲が混雑している場合にはロボットと同行者の距離を近づける、歩行者を避ける際には同行者の横から後ろへ位置関係を変化させるなどが例として挙げられる。

従来のポテンシャル法[1]での同行移動では同行者の周囲に設定した並走用斥力場によって並走と縦走を切り替え、障害物回避を行っている。しかし、計算時間の遅れによって同行者の斜め後ろを並走するような状態になる、多様な同行状態への対応が難しいという課題がある。

人間同士がすれ違ったり、追い越したりする

場合には、目線や進行経路を多少変化させることで意思の疎通を行い、衝突しない経路の選択を行っている。移動ロボットが同様の挙動を行うことによって、同行者、歩行者の安全性を確保するとともに、自然な動作を実現することが期待できる。

3. 同行者のポテンシャル

同行者が持つポテンシャルとしては、同行者とロボットとの衝突を避けるための斥力場、及び同行者の左右にそれぞれ設ける引力場である。同行者の体の形状を半径 0.16m の円柱とし、同行者の体の表面からの距離を r_r としたとき、同行者周辺の斥力場を次のように設定する。

$$P_r = 1/r_r$$

同行者周辺の左右の引力場については、同行者からの角度と距離によって中心位置を設定する。引力場の中心からの距離を r_a とすると、

$$P_a = a \times r_a \quad (\text{左右各々})$$

a は係数であり、左右で違う値に設定することで、左右どちら側を優先して同行するかを決定することができる。今回は左右とも同一の値 ($a = 10$) に設定している。

図 1 に静止している状態でのポテンシャル場を示す。黒い部分ではポテンシャルが低く、白い部分ではポテンシャルが高い。図中央の灰色の円が同行者を表す。

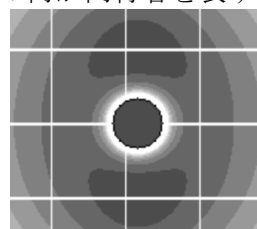


図 1. 同行者のポテンシャル

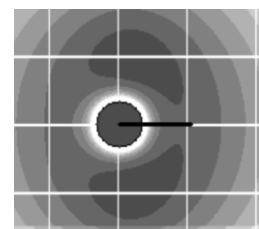


図 2. 移動時のポテンシャル

左右の引力場中心の同行者からの角度、距離を周囲の状況に応じて変化させることによってポテンシャルを制御する。同行者に並走する場合、ロボットが同行者の横ではなく斜め後ろを並走してしまうことを避けるために、ロボットでの処理時間による遅れに応じて引力場を前方に移動させる。図 2 は同行者が移動している状態を示している。図中央の灰色の円が同行者を

表し、円の中央から伸びている黒い線が移動方向を表している。ここでは同行者の真横から 10 度前方に引力場の中心を移動させた。

4. 周囲の歩行者のポテンシャル

周囲の歩行者は斥力場を持つ。体の形状を半径 0.16m の円柱とし、体の表面からの距離を r_a として、斥力場を $P_r=1/r_a$ と設定している。

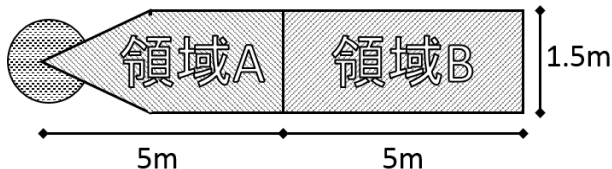


図 3. 回避準備区域 (円が右向きの歩行者を表す)

ポテンシャル法を用いる場合、至近距離へと近付かない限り回避行動は生じない。しかし、人間同士がすれ違う際には、相手を認識した段階で目線や進路、隊列を変更することによって、すれ違う準備を行っている。このような準備行動のために、同行者以外の歩行者に対して図 3 に示すような回避準備区域を設定した。回避準備区域に引力場が入った場合には、手つなぎポテンシャルの位置を同行者の斜め後方へ移動させることによって、回避しやすい地点へと引力場を事前に移動させ、歩行者へ通行可能な空間の存在を伝える。斜め後方への移動は、手つなぎの状態を維持しやすく、回避が生じなかった場合には最小限の動作で並走状態へ復帰できる。

図 3 では円が右を向いている歩行者を示し、回避準備区域を領域 A と領域 B に分割している。領域 A では常に設定した最大角度 θ_{max} で斜め後方へ、引力場の位置が移動する。領域 B では歩行者との距離に応じて引力場の位置が移動する。

歩行者からみた引力場の角度を θ_k 、最大で移動する引力場の角度を θ_{max} 、引力場中心と歩行者の距離を r_k として以下の式で引力場の位置を制御する。

領域 A $\theta_k = \theta_{max}$ ($\theta_{max} = 45$ 度と設定)

領域 B $\theta_k = \theta_{max} \times (10-r_k) / 5$

5. シミュレーション

シミュレーションは幅 2 m の通路を想定し、追い越される場合とすれ違う場合について行った。結果を図 4 から図 7 に示す。図 8 に回避行動がない場合の同行移動を示す。黒い部分ではポテンシャルが低く、白い部分ではポテンシャルが高い。濃い灰色の円が同行者、薄い灰色の円が歩行者、白い円がロボットを表し、円の中央からの黒い線は移動方向を表す。白い線で描かれたグリッドは 1 マス 50cm 角である。

図 4、図 6 より、すれ違い、追い越されのいずれの場合にも回避を行う前に、回避準備区域

の影響で真横での並走状態から同行者の斜め後ろへとロボットが移動していることが分かる。そして、図 5、図 7 に示したようにすれ違い、追い越される時点で歩行者の斥力場によって衝突回避を行っている。回避後には回避前とは反対側で同行者との並走状態に戻った。今回は左右の引力場を同じ強さに設定し、回避前と反対側で並走状態に戻ったが、左右の引力場の強さに偏りを持たせて設定することで回避後にどちら側で並走するかを選択することが出来る。

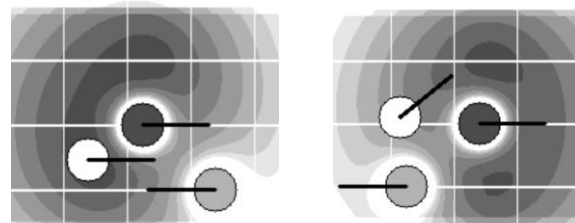


図 4. すれ違う前

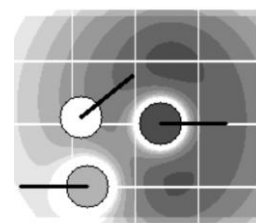


図 5. すれ違う時

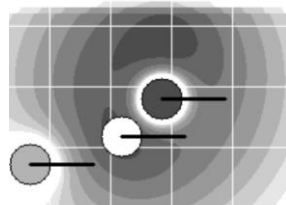


図 6. 追い越される前

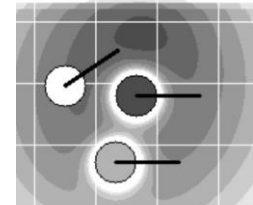


図 7. 追い越される時

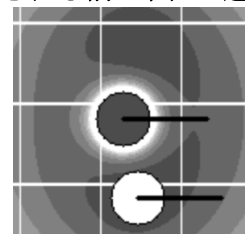


図 8. 回避行動がない場合の同行移動

6. おわりに

本論文では手つなぎポテンシャルの提案を行い、シミュレーションによって、歩行者が接近する前に歩行者が通行可能な空間を用意し、接近した場合には並走・縦走の切替えによって衝突回避が可能であることを確認した。今後の課題として、移動ロボット実機への実装と検証を行い、ユーザから見て自然な同行動作、回避動作を行うことができるかの確認と回避準備行動が与える心理的影響の評価を行いたい。また、今回実装していない同行者の属性に応じた同行動作などを実装し、より汎用的な同行移動の制御手法を確立したい。

参考文献

[1] 中澤 和至, 高橋 桂太, 金子 正秀: “動的環境に適応したポテンシャル場の生成に基づく並走・縦走ロボットの移動制御” 映像情報メディア学会メディア工学研究会, ME2013-18, (2013. 2).