6K-05

歩行者のいる通路におけるロボットの経路計画

中島　巧乃†　　森口　昌樹††　　今井　桂子†††
† 中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻
〒 112-8551 東京都文京区春日 1-13-27
†† 明治大学　先端数理科学インスティテュート
〒 164-8525 東京都中野区中野 4-21-1
††† 中央大学理工学部情報工学科
〒 112-8551 東京都文京区春日 1-13-27
E-mail: †tnakajima@imai-lab.ise.chuo-u.ac.jp, ††moriguchi@meiji.ac.jp, †††imai@ise.chuo-u.ac.jp

1　はじめに

日本では少子高齢化により労働人口が減少することが予想され，様々な産業でロボット活用の期待が高まっている．それに伴い，図書館やモールなどで活用するような，混雑している動的環境下での補助ロボットの研究が行われている．このような研究では，通路にロボットの通る道を予め用意することは難しい．何故ならばロボットのコースを用意してもそこが荷物や人などで妨げられる可能性があり，一方そのコースを柵などで分離をしてしまえば，ロボットの活用が難しくなる．そこで本研究では，歩行者がいる環境下で自在に移動するロボットの経路計画について考える．

歩行者がいる環境下でのロボット経路計画に関する研究では，歩行者のいる範囲全体を 1 つの障害物としてみなして，それを迂回して回避するという手法が存在する．しかし歩行者群を 1 つの集合として考えるため，ロボットの四方に歩行者が存在するような状況になると，障害物の内部にロボットが存在することになり経路が作成できなくなってしまう．そこで本研究はこのような環境下でも経路計画が行えるように，歩行者が移動し得る範囲を予測しその範囲に対するボロノイ図を構築する [2] の手法をベースに考える．

2　問題設定

本研究では，歩行者が存在する通路でのロボット経路計画を行う．前提として，0.4 秒おきに歩行者の位置情報を正確に取得できるものとする．この経路計画問題を，[2] を基に次のように定義する．

入力は，移動させたいロボット R の現在地 R_s，目標到達地点 R_d，経路予測をしたいステップ数 s，そして全ての歩行者集合 P の t ステップ時の位置データ P_t である．また歩行者は通路を歩いており，各歩行者 $p \in P$ とロボット R を，それぞれ半径 r_p と r の円によって表現する．ここで，歩行者 p はマルコフ性を持つと仮定することで，統計データ [1] に基づいた移動予測を行うこととする．このデータを用いることで，次のステップ時に p が存在し得る範囲を，楕円 E_p で表現することが可能である．この楕円は，歩行者の急停止だけではなく速度や横方向への変化を考慮しており，高確率でこの内部に歩行者がいると考えられる．また，ロボットは 360 度自在に移動でき，指定の速度に直ちに変化することが可能であるとする．

出力は，ロボットの通るべき経路である．ここで，歩行者の移動がロボットに影響されないために，ロボットは歩行者と接触せず，歩行者の目の前を横切らず，可能な限り離れた所を通るような経路を選択する．

3　経路候補のグラフ作成手法について

ベースとなる [2] の手法は，歩行者の移動予測を行い，経路候補となるグラフを作成して，各辺にコストを与え最短経路を選択するという流れで経路計画を行っている．この中の，歩行者の移動予測及び経路候補となるグラフの作成手法について説明する．

まず P_t と P_{t-1} を基に各歩行者 p の速度 v_p を計算し，[1] に基づき移動予測範囲を表す楕円 E_p を作成する．計算量削減のため E_p を，P_t での位置と，そのままの速度で s ステップ直進した位置にそれぞれ半径 r_p の円，及び短径の一方の端点を通りつつ 2 円が内接するような円を各端点に対して作成し，この 4 つの円の弧を用いた近似楕円 (PE) に置換する．

次に歩行者の移動予測範囲を表現する全ての PE に対する近似ボロノイ図を作成する．PE の 4 つの円の中心を用いた四角形の重心を用いてドロネー分割を行い，ボロノイ頂点を計算する 3 つの PE の組合せを求める．その PE の組に対して，2 つの PE の最短距離線分の中

†Takuno NAKAJIMA　††Masaki MORIGUCHI　†††Keiko IMAI
†Graduate School of Science and Engineering, Chuo University
††Meiji Institute for Advanced Study of Mathematical Sciences, Meiji University
†††Faculty of Science and Engineering, Chuo University

Copyright ©2018 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

点 (MP) と 3 つの PE から等距離な点 (VP) をそれぞれ計算する (図 1(a))．3 点の MP と，1 点の VP を作成したならば，各 MP と VP をそれぞれ線分で結ぶ．これが 3 つの PE に対する近似ボロノイ図である (図 1(b))．この各線分を有向辺 ij 及び ji (i は MP，j は VP) として考え有向辺集合 E に追加する．また，PE と交差しない MP 同士を結んだ有向辺 ik 及び ki (i, k は MP) を E に追加する (図 1(c))．これを全ての PE の組合せに対して計算し統合させたものが，歩行者集合 P に対する近似ボロノイ図である (図 1(d))．これに R_s から MP，及び MP から R_d への有向辺を E に加え，これを経路候補を表す有向グラフとする．

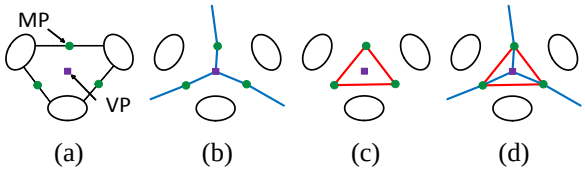

図 1. 3 人の歩行者 (楕円) に対する経路計画例.

4 提案手法

4.1 辺のコストについて

各有向辺 $uv \in E$ にコスト cost_{uv} を与える．歩行者の近くを通ったり，高速ですれ違ったりするような有向辺のコストを高くするため，uv を通る際にすれ違う一番近い歩行者との距離 dist_{uv}，すれ違う歩行者との相対速度 rel_{uv}，通る位置に応じたコスト posi_{uv} 及び uv の通過時間 time_{uv} を用いる．そして，一番近い人との通過コスト $\mathrm{near}_{uv} := \mathrm{dist}_{uv}{}^{-2} \times \mathrm{rel}_{uv} \times \mathrm{posi}_{uv}$ を計算し，これを予め設定している閾値と比較する．もし超えている場合はロボットの uv での航行速度を落とし cost_{uv} を閾値以下にする．ここで下げるべき速度がロボットの航行速度を上回っている場合は cost_{uv} を ∞ とし，経路として選択しないようにする．これより，提案手法で与える uv へのコストは $\mathrm{cost}_{uv} = \mathrm{near}_{uv} \times \mathrm{time}_{uv}$ となる．これを全ての有向辺に対して計算する．

4.2 経路選択方法について

歩行者に接近し過ぎないながらも不必要な大回りを避けるために，予測ステップ内とステップ外，即ち time_{uv} の合計が $s \times 0.4$ を超えない範囲と超える範囲とでの移動計画でコストを変化させることを考える．そこで $\mathrm{cost}_{uv} = \mathrm{near}_{uv} \times \mathrm{dist}_{uv}{}^{\alpha}$ とし，パラメータ $parA, parB$ ($parA < parB$) を与える．そして予測ステップ内で移動できる範囲を全列挙した後，各ルートのコストを $\alpha = parA$ として計算する．列挙した各地点からゴールまでのコストを $\alpha = parB$ として計算して，総コスト最小の経路を選択する．このように α を変化させることで予測ステップ内では歩行者の安全性を確保している．そして予測ステップ外は時間を優先させることで，遠くの人を起因とする大回りを避けることができる．

5 実行例

これらの手法を実装し，計算機実験を行った．四角が R_s，三角が R_d，破線が既存手法 [2] での経路計画で実線が提案手法での経路計画であり，太線が予測ステップ内の経路である．提案手法は，既存手法より相対速度が低くなるような経路を多く選択している．また歩行者に接近し過ぎない範囲で距離も短くなっている．

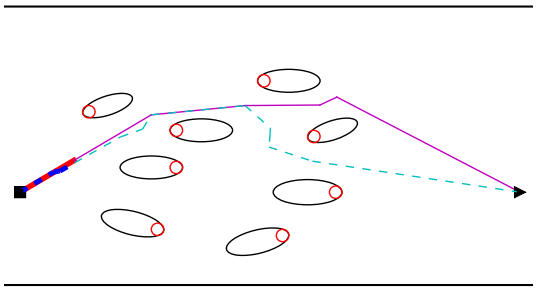

図 2. $parA = 1.5$, $parB = 2.5$, $s = 2$, 8 人の歩行者 (円が現在位置) に対して経路を作成した例.

6 まとめと今後の研究課題

本研究では，提案のアルゴリズムを用いることで歩行者に接触することなく経路計画を行うことが確認できた．また既存のものと比較して，より歩行者に対して干渉しにくい経路計画を行うことができた．

一方で，現在ロボットは自在に方向転換可能と仮定している．しかし，これは歩行者から見ると動きが予測しにくく危険に感じるため，急旋回せずに歩行者を回避するような経路計画を行えるようにする必要がある．

参考文献

[1] M. Huber, Y.-H. Su, M. Krüger, K. Faschian, S. Glasauer, and J. Hermsdörfer, “Adjustments of speed and path when avoiding collisions with another pedestrian,” *PLoS ONE*, Vol.9 (Issue 2), e89589, 2014.

[2] R. Walker and T. J. Dodd, “A novel path planning approach for robotic navigation using consideration within crowds,” In *Proceedings of Towards Autonomous Robotic Systems 2015*, pp. 270–282, 2015.

Copyright ©2018 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.