

周囲の複数歩行者の動きに応じて安全に 自律移動するロボット

鈴木 正也 今井 順一 金子 正秀
電気通信大学 大学院電気通信学研究科

1. はじめに

近年、人間と同じ生活空間で活動することを想定した人間共存型ロボットが数多く開発されている。ロボットが人間と共存していく際に備えておくべき能力の一つとして、周囲に人間が存在する空間内での安全な自律移動が挙げられる。例えば小林ら[1]は並進する介護者の進みたい方向を察知する自律移動車椅子を提案している。この論文では一人の介護者の移動のみを考慮しているが、実際の生活空間では一般にロボットの周囲を複数の歩行者が移動する。さらに障害物や曲がり角の存在もロボットや歩行者の移動経路に影響を与える。そこで本論文では、より実際の生活空間に近い複雑な環境の中で安全に自律移動することができるロボットシステムについて検討する。

2. 移動ロボットの概要

2.1. 想定する移動環境

本論文では、実験環境として、図 1 のように障害物や曲がり角が存在し、かつ周囲を複数の歩行者が移動している通路を想定する。この環境において、ロボットは周囲歩行者の移動を妨げることなく障害物の回避、曲がり角での方向転換を行い目的地まで自律的に移動することを目標とする。本論文で用いる移動ロボットを図 2 に示す。このロボットは走行中の車輪の回転数に基づいて初期状態からの移動距離と向きを認識することができる。ロボットの前方と後方には 2 台の Laser Range Finder (LRF) がそれぞれ人間の腰の高さに備え付けられており、広範囲で物体までの距離を認識することができる。また、ロボットにはスムーズな移動を実現させるため、あらかじめ移動環境の地図情報 (以後グローバルマップとよぶ) を持たせておく。

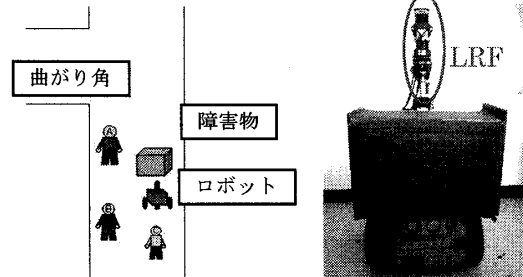


図 1 実験環境

図 2 移動ロボット

2.2. ロボットが行う処理

移動中のロボットは LRF より取得した周囲の距離情報を元に周囲環境地図 (以後ローカルマップとよぶ) を作成する。ローカルマップとグローバルマップを比較し、走行距離情報と統合することで自己位置・向きの推定を行う。次にローカルマップとグローバルマップの差異から歩行者や障害物を検出して回避対象を認識する。また、フレーム間処理によって歩行者の移動速度を求め、カルマンフィルタによる歩行者の追跡を行う。ロボットは歩行者との相対的な位置、速度の関係から目的地に向かうための最適な移動方向を決定する。本論文ではロボットの移動経路生成の手法としてポテンシャル法を用いる。ロボットが周囲環境から受ける斥力を算出する際には、位置関係だけでなく速度を反映した斥力を求める。また、ロボットの視界内で目的地の方向に引力としてサブゴールを設定する。最終的に複数の斥力と引力の合力によって、障害物に接触しない移動経路生成を行う。

3. 歩行者の追跡

検出した歩行者の位置を時系列的に処理することで、ロボットに対する各歩行者の相対速度を求める。ノイズや振動により必ずしも正確な移動量を確認できるわけではないため、速度は過去 5 フレーム分の平均移動距離から求める。移動方向と速度からカルマンフィルタにより各歩行者の位置を予測する。カルマンフィルタによる状態予測により、数フレーム後の歩行者位置を予測することで、歩行者同士の瞬間的なオクルージョンにも対応した追跡が可能となる。

Autonomous Mobile Robot Moving Safely According to
Movements of Pedestrians Around It
Masaya SUZUKI, Jun-ichi IMAI, and Masahide KANEKO
The University of Electro-Communications
1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo 182-8585, Japan
{suzuki, imai, kaneko}@radish.ee.ucc.ac.jp

4. ポテンシャル法による移動方向の決定

4.1. 人工ポテンシャル場の構成

周囲の障害物や歩行者の状態からロボットの移動方向を決定するために、ポテンシャル法を用いる。まず、目的地方向にサブゴールとして引力ポテンシャルを設定する。サブゴールまでの距離を d_g とすると、引力ポテンシャルは次式のように表せる。

$$U_g = C_g d_g \quad (1)$$

ここで、 C_g は比例定数である。次にロボットが周囲環境から受ける斥力ポテンシャルについて考える。本論文では、樋山ら [2] が提案した斥力ポテンシャルをベースとして用いる。ただし、樋山ら [2] は障害物として静止物体しか考慮していない。これに対し本論文では、障害物の速度を考慮した斥力ポテンシャルを導入する。障害物までの距離を d_o 、障害物のロボットに向かう方向の移動速度を v_{d_o} とすると斥力ポテンシャルは次式で表せる。

$$U_o = \begin{cases} \frac{C_o}{d_o} \exp\left[-\left(\frac{d_o - \tau v_{d_o}}{L_o}\right)\right] & \text{if } d_o > \tau v_{d_o} \\ \frac{C_o}{d_o} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

ここで C_o は斥力場の高さであり、障害物の面積に比例する。 L_o は斥力場の広がり、 τ はロボットの反応の時間遅れに対応する値である。式 (2) において $v_{d_o} > 0$ であれば、障害物はロボットに接近してくるため、斥力が強くなる。 $v_{d_o} < 0$ ならば、障害物が離れていくため、斥力は弱くなる。距離と速度の両方を考慮した斥力場を用いることで、歩行者が複数人いる場合でも、緊急度の高い順に回避判断を行うことが可能になる。

4.2. サブゴールの位置設定

サブゴールはロボットに見えている範囲内で、目的地への中継ポイントとして設定する。サブゴールの位置は自己位置・向き・向きの推定結果と歩行者ごとの斥力を用いて決定する。まず、現在位置からサブゴールの方向を限定する。進行方向が直進の場合は通路左右の壁際を候補とする。曲がり角の手前では、壁際から曲がり角奥の壁まで延ばす。閾値より斥力の大きい歩行者のいる方向を候補から除外し、最終的に目的地に近い候補をサブゴールの位置に決定する。その後、式 (1) を用い引力ポテンシャルを決定する。求めた引力と斥力のポテンシャルをロボットの現在位置で偏微分することにより合力が求まる。その勾配の方向にロボットを移動させる。

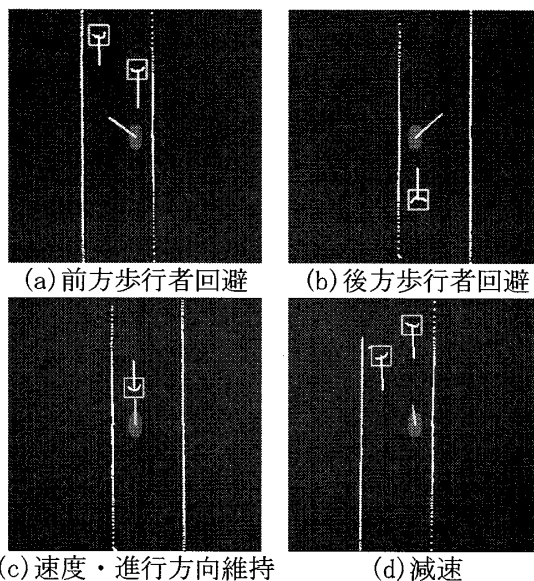


図3 ロボットの移動判断

図3にロボットの移動判断例を示す。矩形が歩行者を、矩形の中心から伸びた直線が歩行者の移動方向および速度（長いほど速い）を表す。また、画像中心の楕円領域がロボットの位置および向きを、そこから伸びた直線がロボットの移動判断結果を表す。(a)、(b)では速度が速く斥力の強い歩行者がロボットの進路上を移動しているため、回避判断をしている。(c)では前方すぐ近くに歩行者がいるが、速い速度で遠ざかり斥力が弱いため、回避判断をしていない。(d)では進行方向、回避方向の斥力がともに高いため、回避判断をせずに減速の判断をしている。

5. おわりに

本論文では移動速度を考慮した斥力ポテンシャルを用いてロボットの移動経路を生成する手法について述べた。また歩行者ごとの斥力からサブゴールの位置を変更することでスムーズな回避行動がとれることを確認した。今後の課題としては、地磁気センサなどを組み合わせて自己位置・向き推定の精度を向上させることによって、より複雑に入り組んだ環境での移動に対応させることが挙げられる。

参考文献

- [1] 小林貴訓, 金原悠貴, 久野義徳: “複合センサを用いた人物の行動計測に基づく自律移動車椅子,” 第 15 回画像センシングシンポジウム, IS-2-12, 2009.
- [2] 樋山義久, 村尾建治, 山本佳男: “車輪型移動ロボットの柔軟な障害物回避行動,” ロボティクス・メカトロニクス講演会'03 講演論文集, 1A1-1F-C4, 2003.