

日常環境において同行者の動きに応じて安全に移動可能な自律移動ロボット

高橋 和也 金子 正秀

電気通信大学 大学院電気通信学研究科

1. まえがき

人間が2人で廊下を歩行する際、一般的には横に並んだ「並走」の形態で歩行する。しかし、対向歩行者とすれ違う際には、道幅が狭くなるため「縦走」の形態に自然に移行する。この形態変化については、2人のどちらが先に進むのかを互いに瞬時に判断して行っている。関連研究として、花井ら[1]はロボットが同行するユーザの動きに合わせて並走・縦走を自律的に切替える方法を提案している。この研究では、ロボットとユーザの位置関係は大きく分けて2パターンであるため適用環境が限られている。また、小林ら[2]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。一人の介護者の移動を対象とし、ロボットは並走を行う。しかし、実際の生活空間において、ロボットと同行者との移動形態は複雑に変化し得る。そこで本論文では、複数の人物がいる、より実際の生活空間に近い環境の中で、同行者との相対的位置関係を考慮しながら安全に自律的移動をすることができるロボットシステムについて提案する。

2. 移動ロボットの概要

2.1. 想定する環境

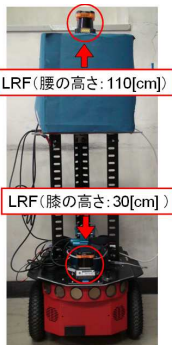


図1 移動ロボット

本論文では、部屋や廊下など段差のない室内を動作環境とする。使用する移動ロボットを図1に示す。ロボットには Laser Range Finder (LRF) を人間の腰の高さ(110[cm])と膝の高さ(30[cm])に設置する。LRFはロボットの前方向270度、半径10[m]の範囲の距離情報を取得することができる。

2.2. ロボットが行う処理の流れ

ロボットが行う処理の流れを図2に示す。まず、LRFの距離情報から人物検出を行う。そして、周辺人物と同行者の追跡を行い、同行者との相対的位置関係を認識する。同行者の向きを認識を行い、同行し続けるための最適な位置関係を決定し移動する。

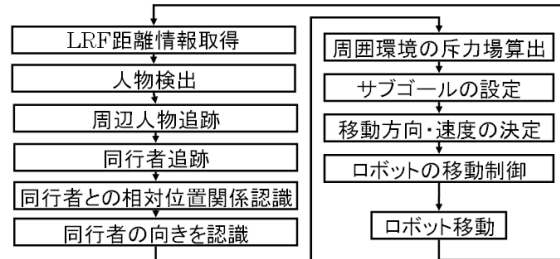


図2 処理概要

3. 人物検出・追跡・同行者の向き

3.1. 人物検出

壁や障害物などがある室内環境からロボットが人物のみを区別できるようにするために人物検出を行う。LRFより得られる距離情報を2次元画像上にマッピングしX-Z平面画像を作成する。腰の高さに設置したLRFから作成したX-Z平面画像からは、人間の腰周りに特徴的な三日月型の形状を観察することができる。X-Z平面画像に対して楕円フィッティングを行うことにより人間の腰部分の位置を検出する。また、膝の高さに設置したLRFからも、脚の形状の特徴らしき三日月型の形状を2ヶ所観察できる。腰部の検出と同様にして楕円フィッティングを行うことにより脚の検出を行う。フィッティングによる検出精度を向上するため、長径が60[cm]以下の楕円を人物の腰候補とし、30[cm]以下の楕円を脚の候補とする。腰部と脚はX-Z平面画像上ではだいたい同じ位置に存在すると考えられるため、X-Z平面画像(腰部)から検出された人物候補領域の中心から35[cm]以内の範囲に、X-Z平面画像(脚部分)より脚候補が検出された場合、ロボットはそこに人間が位置すると認識する。

3.2. 同行者の追跡

複数人物がいる環境において、頑健に同行者のみを追跡するために人物追跡を行う。追跡処理にはパーティクルフィルタを使用する。複数の人物を検出した場合はロボットに一番近い領域を同行者と設定し、現フレームとの時間差に応じ重み付けをする。過去11フレーム(約600[msec])の累積した位置情報を使用することにより、オクルージョンへの対応を可能とする。人物の中心位置の計算には現フレームと過去2フレームの情報を使用することにより、実際の人物の位置との誤差を少なく観測できる。

3.3. 同行者の向き

現フレーム情報のみで同行者の進行方向を予測

Autonomous Mobile Robot Moving Safely According to Movements of Accompanied Person and Pedestrians in Daily Life

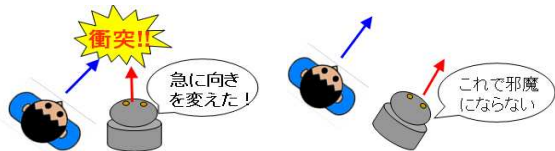
Kazuya TAKAHASHI and Masahide KANEKO

The University of Electro-Communications

1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo 182-8585, Japan

{k_takahashi, kaneko}@radish.ee.uec.ac.jp

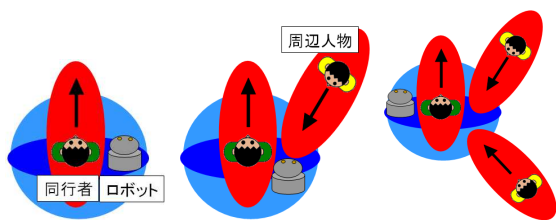
するために、身体の向きを検出を行う。これにより、同行者の進行方向にロボットが位置した場合に、瞬時に邪魔になるかどうかを認識し移動することができる。具体的には、現フレームの情報から同行者がロボット側を向いていることを検出することにより、ロボットは同行者がロボット側に移動しようとする意思を予測し、図 3(b)のように相対的位置関係を変化させ衝突を回避する。検出方法としては、追跡する楕円(腰部分)の短径の角度から同行者とロボットの向きの差を認識する。



(a)向きを考慮せずに移動 (b)向きを考慮した移動
図 3 同行者の向きを考慮した移動判断例

4. ロボットの移動判断

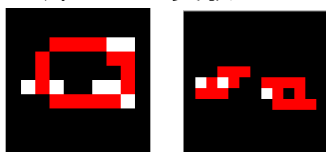
ロボットが周囲環境を認識することは、安全に自律移動する上で重要である。周囲の障害物や歩行者の状態からロボットの移動方向を決定するために、ポテンシャル法を用いる。ロボットの目的地となる引力ポテンシャルを同行者の周囲に設定し、「並走」形態となる位置には、より強い引力ポテンシャルを設定する。また、周辺人物、障害物や壁には斥力ポテンシャルを設定する。図 4 にロボットと同行者の相対的位置関係の例を示す。引力を青色、斥力を赤色で表す。ロボットは図 4(a)を基本型として移動する。そこに他の人物が近づいてくるとロボットは同行者と周辺人物に合わせ、図 4(b)のように位置を変化させる。また、周辺人物が複数人近づいてきて、同行者に対して右側の位置では衝突してしまうと判断すると、図 4(c)のように自律的に左側へと位置関係を変化させる。



(a)基本型 (b)周辺人物(1人) (c)周辺人物(2人)

図 4 ロボットと同行者の相対的位置関係の例

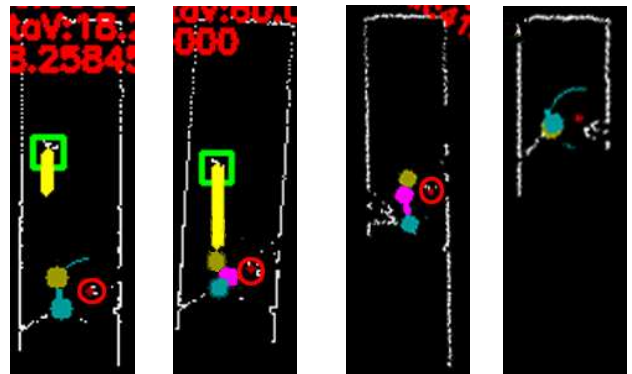
5. 廊下での実験



(a)腰部 (b)脚部
図 5 楕円フィッティング

図 5 に腰部と脚部の楕円フィッティングの結果を示す。図 5(a)は $X-Z$ 平面画像(腰部部分)に楕円フィ

ッティング処理を行った結果である。図 5(b)は脚検出用の LRF より得た $X-Z$ 平面画像に楕円フィッティングを行い、脚を検出した結果画像である。図 6 に廊下においての実験結果を示す。水色の丸印がロボットの位置、赤色の輪印が同行者、黄土色の丸印は引力ポテンシャルの位置、黄緑色の矩形が対向人物、黄色の線分がカルマンフィルタの結果であり、速度が速いほど線分は長くなる。図 6(a)において、ロボットは同行者の隣りに設置した引力ポテンシャルの力を受けて移動を開始する。ロボットと引力ポテンシャルの間にカルマンフィルタの結果によって生成された斥力場が存在すると、図 6(b), (c)に示すようにロボットはサブゴール(桃色の丸印)を設置し、そこを経由する。このとき、同行者がロボットの前方に位置するため、ロボットは、同行者がロボットより先に移動したいという意図を察し、サブゴールを同行者の後方に設置した。図 6(d)では、ロボットは同行者に合わせて停止する。1 フレーム当たりの処理速度は 50~70 [msec]であり、実時間でのロボットの移動が可能であった。他の移動パターンとして、ロボットが同行者の前方を経由して衝突回避する動作や、廊下から入口を通過し部屋内へ移動する動作が可能であることを確認した。



(a)移動開始 (b)サブゴール設置 (c)衝突回避 (d)停止
図 6 同行者の後方を経由

6. むすび

LRF から得られる $X-Z$ 平面画像に基づいて人物検出、追跡、障害物の検出を行うことにより、同行者と並走し、また、向き、周辺人物の存在やその速度、同行者との位置関係を考慮した移動を、廊下や室内などの日常環境下において、ロボットに実時間で行わせることができた。今後の課題として同行者を見失ったときへの対応が挙げられる。

参考文献

- [1] 花井久美江, 今井順一, 金子正秀: “画像情報に基づき自律的にユーザとの並走・縦走の切替えが可能なロボットの実現,” 信学技報 IE2006-285, 2007. 3.
- [2] 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.