

対向者の歩行動作の観測と予測に基づくロボットの自律的すれ違い
 Robot which can Autonomously Pass with Oncoming Pedestrian
 Based on Observation and Prediction of Pedestrian's Walking Behavior

伊藤 明久†
Akihisa Ito

今井 順一†
Jun-ichi Imai

金子正秀†
Masahide Kaneko

1. はじめに

実生活空間において、人間はお互いの振舞の様子を見て相手の次の行動を予測している。これによって互いに衝突を回避したり、相手の行動意図を理解している。人間共存型のロボットにおいても周囲の人間の行動を予測し、それに対して適切な対処行動を取ることができれば、ロボットの社会性が向上すると期待される。

人間とロボットのすれ違いについては、移動障害物に対する回避技術として研究が行われている。ASIMO[1]は、対向者の進行方向と速度から対向者のその後の動きを予測し、すれ違いを行うことができる。またEMIEW[2]は、人間の位置と速度に加えて斥力ポテンシャルを想定することで、数人の人がいる中での移動が可能である。しかし、どちらにおいても人間の全身を1つの物体として認識しているため、人間の回避行動そのものを検出することはできない。そのため、人間がある程度の回避行動をした後でないと動きを推定できないことから、ロボットが対処行動を取るタイミングが遅くなるという問題がある。

本論文では、ロボットが画像情報から対向者を顔、胴体、足の3つの部位に分けて認識することで、対向者の回避行動そのものを検出し、早期に対向者の移動方向を予測して適切な対処行動を取る方法について述べる。

2. 自律的すれ違い

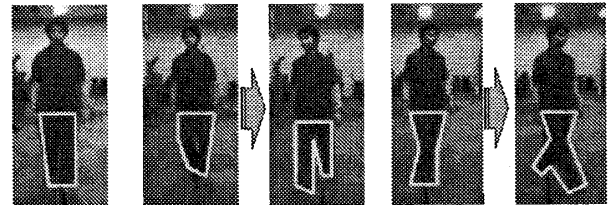
ロボットが対向者と自律的にすれ違うためには、対向者が回避行動をしているかどうか、していれば左右どちらに移動しているかを認識する必要がある。また、円滑なすれ違いを実現するためには、対向者の回避行動をできるだけ早期に検出することが求められる。幅が限られた場所でのすれ違いにおいては対向者とロボットがかなり接近した状態になるため、ロボットがより遠い距離から対処行動を開始することは対向者の心理的負担(衝突への不安等)を低減する効果がある。

以上から、回避行動において対向者の位置自体の変化よりも早い段階で現れる動作も検出し、対向者の移動方向を予測する必要がある。

3. 対向者の回避行動の検出

3.1 観測する動作

図1に示すように、対向者の位置の変化が小さい段階でも、直進する場合と右折/左折する場合とでは異なる足の形状が観測される。従って、対向者の位置の変化と足の形状の変化を統合して判定することにより、早い段階で対向者の移動方向を推定することが可能である。



(a) 直進 (b) 右折:足を外側に開く (c) 左折:足を交差する
 図1. 進路変更に伴う足の形状変化

本論文では、対向者の位置の変化としてフレーム間における上着領域の重心の移動方向を、足の形状の変化としてズボン領域の輪郭形状を観測する。また、対向者が回避行動を取らない場合への対処のため、対向者の顔の向きも観測する。

3.2 対向者の検出

対向者の検出は、肌色と髪色をもとに人間の顔らしい領域を抽出することで行う。肌色はHSV表色系のHS空間においてひと固まりに分布し、ガウス混合モデル(GMM)で近似できる[3]。このGMMを用いて、肌色領域を抽出する。また、輝度の値を周波数とみなした帯域通過型のフィルタにより低輝度の画素を抽出し、髪色領域とする。人間の顔の構造を利用し、肌色領域の上部に髪色領域が存在し、かつそれらが隣接しているものを対向者の顔領域として検出する。

上着とズボンの色情報を得るために、検出した顔領域の位置を基に色の抽出範囲を求め、範囲内の色相と彩度のヒストグラムの最大値を求める。以後のフレームにおいては求めたヒストグラムの最大値から上着領域を追跡し、その位置を基に顔領域及びズボン領域を抽出する。

3.3 移動方向の判定

顔の向き、フレーム間における上着領域の重心の移動方向、ズボン領域の輪郭形状に基づいて対向者の移動方向を推定する。

顔の向きは、目や口の位置を肌色領域からソーベルフィルタを用いてエッジ検出を行うことで求める。肌色領域、エッジ、髪色領域それぞれにおいて顔領域のx軸に対する累積ヒストグラムを求め、その中央値の差分から顔の向きを正面、右、左の3方向のいずれかに判定する。図2に顔向き推定の例を示す。図2(d)では、肌色領域、エッジ、髪色領域それぞれの累積ヒストグラムの中央値を赤、青、緑の線で示している。



(a) 肌色領域 (b) エッジ (c) 髪色領域 (d) 判定結果
 図2. 顔が左向きの場合に対する処理内容

†電気通信大学 Graduate School of Electro-Communications,
 The University of Electro-Communications

上着領域の重心の移動方向は、第*i*フレームと第*i*-1フレームにおける重心位置の差について、第*i*フレームにおける上着領域の横幅を基準とした割合を計算して判定する。割合が小さいときは対向者が直進していることを示し、大きいときは移動方向を変更していることを示す。

ズボン領域の形状推定については、まずズボン領域の大きさを36×54画素に正規化し、輪郭を抽出する。腰、右膝、左膝、右足元、左足元の5領域に区分する。輪郭点と輪郭点の繋がりを縦、横、右上がりの斜線、右下がりの斜線の4方向で表し、各区分内における4方向各々の数からズボン領域の形状を判定する。図3にズボン領域抽出結果の例を示す。



各判定要素における結果から、表1に示す処理によりロボットの移動方向を決定する。Left および Right は変数であり、単独では対向者の回避行動とは断定できない判定要素(※印を付したもの)における判定結果を蓄積する。対向者が回避行動を取らない場合には、Left と Right の大小関係からロボットの移動方向を決定する。

表1. 各判定における処理

判定要素	判定方向	処理
顔の向き	左向き (※)	Left + 1
	正面	—
	右向き (※)	Right + 1
上着の重心	左折(大)	ロボット左折
	左折(小) (※)	Left + 1
	直進	—
	右折(小) (※)	Right + 1
	右折(大)	ロボット右折
ズボンの形状	斜線数4以上かつ上着判定 = 左折(小)	ロボット左折
	斜線数4以上かつ上着判定 = 右折(小)	ロボット右折
	その他	—
対向者が回避行動を取らない場合	Left ≥ Right	ロボット左折
	Left < Right	ロボット右折

4. 実験方法

ロボットはヴイストン製の Robovie-R ver.2 を使用する。本ロボットは一般的な人間の歩行速度と同程度の 0.8 m/s 程度での移動が可能である。カメラとして㈱ビュープラス製のステレオカメラ MiniBee を使用する。画像情報を始めとする情報処理用には、CPU : Intel Core 2 Duo 2.0 GHz, メモリ : 2.0 GB, HDD : 110 GB の PC を利用する。

実験では、まず対向者とロボットが 5m 程度離れて向かい合い、お互いに直進する。その後対向者は直進、停止、右折、左折の4つの動作のいずれかを行う。

5. 結果および考察

対向者が左折した場合の実験結果例を図4に示す。また、PC内部での処理結果の例を図5に示す。図4から、対向者が左折を開始すると、ロボットはカメラから取得した画像を基に対向者の進行方向の判定を行い、それに応じて対向者とは逆方向である左に少し向きを変えることにより衝突を回避できていることがわかる。図5では

検出した対向者の顔、上着、ズボン各々の領域を矩形によって表示し、判定結果を画像上部に文字で示している。

6. 画像認識モジュールの利用による実時間動作

対向者とロボットとのすれ違いを実時間で行わせるために、「NEDO 次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト・画像認識用デバイスおよびモジュールの開発[4]」で開発された画像認識モジュールを利用して処理の高速化を図った。

画像認識モジュールを併用した場合と PC のみで処理を行った場合とでの1フレーム当たりの処理時間の比較を行った結果を表2に示す。モジュールの利用により平均で1.88倍の高速化が実現されている。これにより、ロボットと人間が各々 0.8 m/s 程度の速度(人間の通常の歩行速度)で移動していても、互いに停止することなくすれ違いができるようになった。

表2. 1フレーム当たりの処理時間

(単位: ms)	平均	標準偏差	最大	最小
PCのみ	188.0	50.7	328	109
モジュール 使用	PC	2.3	5.5	16
	モジュール	100.0	—	—

7. おわりに

本論文では、対向者の歩行動作から移動方向を予測し、ロボットが対向者と衝突しないように自律的に行動する方法を提案した。ロボットが一般的な人間の歩行速度(0.8 m/s 程度)に近い速度で移動した状態で、対向歩行者(1名)の進行方向の変化を観測し、自律的かつ歩行者を停止させることなく歩行者との衝突を回避できることを実験により確認した。今後の課題としては、ズボン領域を正確に抽出できないと対向者の移動方向に対する誤判定の原因となることから、ズボン領域の抽出精度を評価する機能を加えることが挙げられる。



図4. 実験の様子(左折した場合)

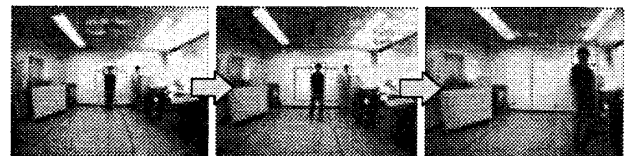


図5. 左折した場合の内部処理結果の例

参考文献

- [1] <http://www.honda.co.jp/ASIMO/>
- [2] <http://www.hitachi.co.jp/rd/research/robotics.html>
- [3] Quan Huynh-Thu, Mitsuhiko Meguro and Masahide Kaneko : Skin-color extraction in images with complex background and varying illumination, IEEE (WACV2002), pp.280-285, USA (2002.12.)
- [4] <http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p05027.html>