

行動ダイナミクスに基づく歩行者の目的地推定における 候補点の抽出

寺田善貴 (東京大学) 森下壮一郎 (東京大学, 電気通信大学) 浅間一 (東京大学)

Extraction of Candidate Points for a Destination Estimation Method Based on Behavior Dynamics

*Yoshitaka TERADA (The University of Tokyo),

Soichiro MORISHITA (The University of Tokyo, The University of Electro-Communications),
Hajime ASAMA (The University of Tokyo)

Abstract— For effective trajectory formation of robots, we propose a method to extract candidate points of the destination of walking people from their walking trajectories. The method is useful for setting the candidate points of the destination automatically which is necessary to estimate the pedestrians' destination. We assume that potential fields influence pedestrians. Results obtained from experiments in an actual environment to verify the availability of the proposed method show that appropriate candidate points of the destination are extracted.

Key Words: Destination estimation, Intelligent environment, Pedestrian analysis

1. はじめに

掃除ロボットや搬送ロボットなどのサービスロボットには、人と安全に共存する機能が要求される。特に自律移動ロボットは人と衝突しないことが必須である。そのため、危険なときに直ちに緊急停止できるように移動ロボットは低速で運用されることが多く、作業効率が損なわれている。この問題を解決するために、環境内の人とロボットといった移動オブジェクトの情報に基づき、移動ロボットの安全度を評価するモジュールに関する研究が行われている [1]。これは、筆者らが取り組んでいるロボットが人と共存する環境でロボットに作業を実行するための作業知能モジュール群の開発の一環として行われている [2]。この安全度の概念から人との干渉がない場所ならばロボットを速く動かしても危険はないことがいえる。そこで、人との干渉がない場所をどのように知るかを考える。

渡邊ら [3] は歩行者の経路選択モデルを用いた手法を提案している。これは障害物を配置した空間での歩行者の経路選択行動をモデル化するものである。しかし、これでは歩行者の短期的な予測しかできず、ロボットの最適な経路選択を行うことは困難である。タイムスケールが長期的である人の行動予測として、西村ら [4] は隠れマルコフモデルを用いた歩行パターンからの目的地推定方法を提案している。これは歩行者の移動軌跡から目的地を推定するものである。歩行者の移動軌跡が取得できれば、この手法によりその人物の行動が完了する前に目的地を推定することが出来る。しかし、このとき目的地の候補点をあらかじめ設定しなければならず、(1) 事前に想定し得ない候補点がある場合に対応できない、(2) 不適切な候補点を設定してしまう、等の問題がある。

以上のことから、本稿では先行研究の難点を解決するために人物の歩行データから目的地の候補点を抽出

する手法を提案する。

2. 行動ダイナミクスに基づく候補点抽出

2.1 行動ダイナミクス

まず、人が目的地に向かう行動の背後にポテンシャル場があると仮定する。具体的には、人が目的地に向かうときには目的地が極小となるような下に凸のポテンシャル場の影響を受けながら行動するものとする。なお本稿では、このポテンシャル場を行動ダイナミクスと呼ぶ。そして、行動ダイナミクスの勾配が歩行者の平均速度であるとする。

2.2 歩行者の移動軌跡

移動軌跡を歩行者の時刻毎の位置座標 $(x_i(t), y_i(t))$ で表現する。ここに、 i は移動軌跡ごとにつけられた番号、 t は時刻である。そして各時刻の速度の x 成分と y 成分をそれぞれ $\dot{x}_i(t) = x_i(t+1) - x_i(t)$ 、 $\dot{y}_i(t) = y_i(t+1) - y_i(t)$ とする。

2.3 行動ダイナミクスのパラメータ推定法

2.3.1 手順

1. N 個の歩行者データを目的地数と同じ M 組にランダムに分類する。
2. 各グループに属するデータを用いて x 軸方向、 y 軸方向それぞれについて後述する方法 (2.3.2) で回帰分析する。
3. 得られた回帰直線の $\dot{x} = 0, \dot{y} = 0$ となる (x, y) と暫定目的地とする。
4. 全ての歩行者データについて、後述する式 $S(i, j)$ で各暫定目的地との適合度を計算し、適合度が最も高かった暫定目的地のグループにあらためて振り分ける。

- 以後グループの変化が無くなるまで 2.3.4. を繰り返す。
- 最終的な回帰直線 $\dot{x} = a_j x + b_j, \dot{y} = c_j x + d_j$ ($j = 1, 2, \dots, M$) から行動ダイナミクス

$$U_j(x, y) = \iint \sqrt{(a_j x + b_j)^2 + (c_j y + d_j)^2} dx dy$$

が導かれる．この極小点を求めることで目的地候補点座標が得られる．

2.3.2 回帰分析によるパラメータ決定

速度 \dot{x} を被説明変数，位置 x を説明変数として，位置に応じた歩行者の速度について回帰分析することで行動ダイナミクスのモデルパラメータを推定する．図 1 に一例を示す．これによると，歩行者の速度と位置座標の関係を表すには非線形モデルが適切であると分かる．しかし，非線形回帰分析は初期値の設定が非常に困難であるので，本研究では目的地付近のデータで線形近似して回帰分析を行った（図 2）． y 軸方向についても同様である．

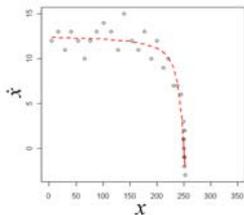


Fig.1 非線形回帰分析

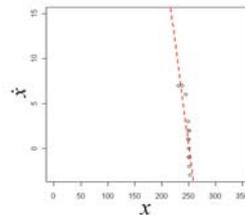


Fig.2 線形近似

2.3.3 適合度の計算

適合度の評価関数を以下の $S(i, j)$ と定義する．

$$S(i, j) = \sum_t s(i, j, t) \cos \theta_{ij}(t)$$

$$s(i, j, t) = \cos v_i(t) \cos r_{ij}(t) + \sin v_i(t) \sin r_{ij}(t) + 1$$

これは，(1) 歩行者は目的地に近いときは速度が遅く遠いときは速くなる，(2) 歩行者は目的地に向かって歩行するとして，その仮定が成り立つときに大きくなるものとして設定した．ここに， $v_i(t)$ は歩行者の速さ， $r_{ij}(t)$ は歩行者と暫定目的地の距離， $\theta_{ij}(t)$ は暫定目的地に対する歩行者の速度ベクトルのなす角度， j はグループ毎につけられた番号である．なお，この評価関数の定義域は $0 \leq v_i(t) \leq \pi, 0 \leq r_{ij}(t) \leq \pi$ であるため， $v_i(t), r_{ij}(t)$ をそれぞれ π が最大値となるよう正規化する．

3. 実験

東京大学柏キャンパス総合研究棟・空間表現室にて以下の 2 つの条件で実験を行った．

- 歩行者に指示を出す場合
- 歩行者に指示を出さない場合

3.1 実験環境

条件 1 では室内にポスターを 2 つ配置して，被験者である男性 3 名に対してポスターの前まで行き内容を読むように指示した．条件 2 では東京大学柏キャン

パスにて行われたオープンキャンパスにおいてポスターを 3 つ配置し，来場者には特に指示を与えなかった．いずれの場合もその様子を固定カメラにて撮影，時間毎の位置座標データを取得した．なお，位置座標の取得には森下らの手法を適用した [5]．

3.2 実験結果



Fig.3 条件 1 の結果



Fig.4 条件 2 の結果

図 3 および図 4 に結果を示す．円の場所が抽出された目的地候補点を示す．条件 1 は，目的地候補点がポスターの前に立つ人物の領域内に位置していることから本手法の有用性を確認できた．条件 2 で抽出された目的地候補点について，2 点はポスター前であることがわかる．もう 1 点は入り口付近にあるため，入り口に向かう歩行者の影響を受けたと考えられる．歩行者に指示をだした場合ならば，行くように指示をした場所が真の目的地であるといえるが，指示を出していない場合はそれがわからない．しかしながら，歩行者に指示を出す場合に精度の良い結果が出ていることから，指示を出していない場合でも抽出された点が目的地候補点であるといえる．

4. まとめ

本稿では，目的地となる候補点が明確でない状況で歩行者の移動軌跡から目的地候補点を抽出する手法を考案した．これは歩行者の背後にポテンシャル場を仮定し，そのパラメータを推定し極小点を求めてこれを候補点とするものである．そして，実環境下における 2 つの条件で実験を行うことにより，手法の有用性を確認した．今後の課題として，モデルに沿わないデータが存在するときでも目的地を抽出できるような頑健性についての検討などが挙げられる．

謝辞

本研究は NEDO「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」の一部として実施されたものである．

参考文献

- [1] 村上 他 “ 移動型サービスロボット向けの安全度評価モジュールの基本構成 ”，第 27 回日本ロボット学会学術講演会，AC1D3-06，2009
- [2] 松日楽 他 “ ロバストに作業を実行するための作業知能化モジュール群の開発：プロジェクト概要と進捗 ”，第 26 回日本ロボット学会学術講演会，AC1F-07,2008
- [3] 渡邊 他，“ 小規模空間における単一凸障害物周辺での経路選択行動の解析 ”，電子情報通信学会論文誌 A，87 巻，1 号，pp. 20-30，2004
- [4] 西村 他 “ 隠れマルコフモデルによる歩行パターンからの目的地推定 ”，第 7 回計測自動制御学会 SI 部門講演会概要集，pp. 772-773，2006
- [5] 森下 他 “ 固定カメラ画像における人物領域の重心からの足元位置同定に関する研究 ”，第 7 回計測自動制御学会 SI 部門講演会概要集，pp. 1380-1381，2006