自律移動ロボットにおける人物追跡の研究

中野　広樹
知能情報工学講座（指導教員　渡邊睦教授）

1　はじめに

近年，ロボット技術の進歩は大変目覚しく医療・娯楽などさまざまな分野において活躍を見ることができる．しかし，生活におけるサービスロボットのように人間により身近な環境におけるロボットはまだ研究の途中と考えられる．今後考えられる生活におけるサービスロボットの例としてスーパーマーケットの自動買い物かごカートが挙げられる．このようなロボットにおいては人物を自律的に追跡するという機能が重要である．また移動ロボットによる人物追跡に当り，使用環境に依存しない追跡するためにはセンサとしてロボットに搭載したカメラを利用することが有効である．

ロボットビジョンからロボット座標系における人物位置決定あたって，カメラを下向きにつけて人物の下端からロボット座標系における人物位置を決定する手法を考えた [1][2]．人物の下端を見つけるにあたり画面上では足を追跡する必要性がある．しかし，足は 2 本あるので左右の足を分別せず追跡するのは追跡失敗の原因となる．

そこで本研究では，両足分離追跡のために画像から人物の両足を分離する線（以下両足分離線と呼ぶ）を見つける手法について考える．次に分離した両足についてそれぞれ追跡をしていく手法を考え，そこから人物の下端を見つける手法を考える．最後に一連の流れを実装し，手法を検証し有効性を検証した．

2　追跡手法

本研究では人物の追跡に当り，画像内において両足を分割して追跡するためにそれぞれ独立した 2 つの Condensation[3] による追跡を利用した．

また，追跡にために「追跡人物決定モード」「人物追跡モード」の 2 つのモードを作った（図 1）．追跡人物決定モードではロボットが停止した状態で人物進入検知・追跡人物の特徴取得を行う．人物追跡モードではロボットは移動しながら人物存在確率の算出・ロボットに対する人物位置の観測を行う．通常は追跡人物決定モードで待機しておき，人物を検知したら，その人物を追跡するために人物追跡モードへ変わる．

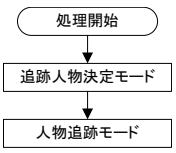

図 1　処理のフローチャート

2.1　Condensation

Condensation とは時系列ベイズフィルタの一種である．時系列ベイズフィルタは，過去の情報と現在の観測情報から現在の状態推定を行うフィルタであり，「思い込み」や「経験に基づく」処理を行うのに利用可能だが，正直に計算するのは困難な部分がある．そこで Condenation ではこの部分を，分布を仮説群 (パーティクル)$\boldsymbol{s}_t^{(n)}$ とその重み $\pi_t^{(n)}$ で近似することで，計算可能にした手法ある．

パーティクルに適用されるプロセスは次の 4 つの部分から構成される（図 2）．このプロセスの繰り返しによって追跡が実現される．

1. 移動モデルに基づいたパーティクルの移動（予測）
2. ランダムサンプリングのためのパーティクルの拡散
3. 観測結果からの重み（尤度）$\pi_t^{(n)}$ の算出
4. 重みに基づいたパーティクル配置の調整

2.2　追跡人物決定モード

エッジ背景差分により人物の進入検知を行う．人物の進入が検知されたらグレースケール背景差分とエッジ背景差分の結果から人物領域を決定し，人物特徴として RGB 空間における人物領域のヒストグラムを作成する．次に人物領域の x 軸への累積投射を利用して両足分割線探索を行う．その後，Condensation による両足の追跡を行う．

2.3　人物追跡モード

人物特徴のヒストグラムから画面内における色空間からの人物存在確率 $P_{color}(\boldsymbol{X} = (\boldsymbol{X}_x\ \boldsymbol{X}_y)^T)$ を算出する．次にパーティクルの尤度 $\pi^{(n)}$ として $P_{color}(\boldsymbol{s}^{(n)})$ を与えておき，そこから人物存在位置の期待値 $E(\boldsymbol{X})$

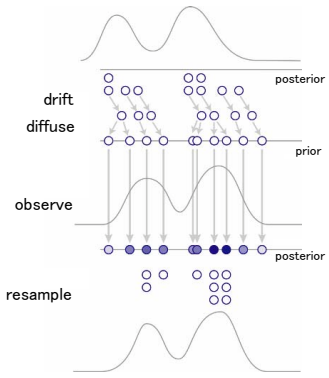

図 2　Condensation Update プロセスの模式図

を算出する．そこから人物存在位置の期待値から人物存在確率 $P_{exp}(\boldsymbol{X})$ を出す．そしてパーティクルの尤度 $\pi^{(n)}$ を

$$\pi^{(n)} = P_{color}(\boldsymbol{s}^{(n)}) * P_{exp}(\boldsymbol{s}^{(n)}) \quad (1)$$

として与えておく．全てのパーティクルへ尤度が与えられたら，両足分全てのパーティクルの x 軸への累積投射を行い両足分割線の探索を行う．

両足分割線の探索が終わったら次に人物までの距離を出すために人物の下端の探索を行う．色空間からの人物存在確率 $P_{color}(\boldsymbol{X})$ を全画素に対して算出する．次に両足分割線からの距離に応じた値と両足分割線のどちら側にあるか判断するための値 $P_{foot}(\boldsymbol{X})$ を出す．そこからパーティクルの尤度 $\pi^{(n)}$ として

$$\pi^{(n)} = P_{color}(\boldsymbol{s}_t^{(n)}) * P_{foot}(\boldsymbol{s}_t^{(n)}) \quad (2)$$

を付与する．尤度を付与し終わったらそれぞれ右足用・左足用 Condensation の尤度を y 軸方向に投射し，その累積投射から，人物下端の大体の場所を決める．最後にその周辺のエッジを探索することにより，人物の足元を決定する．そこからディジタル画像座標系からロボット座標系への変換を透視投影カメラモデル・人物の下端は地面についていることを利用しロボット座標系における人物位置を算出し，ロボットを移動させる．最後に両足それぞれの分離追跡のために，両足分割線からの左右それぞれの足の存在確率と色空間からの人物存在確率 $P_{color}(\boldsymbol{X})$ から尤度 $\pi^{(n)}$ をとして与えておき，パーティクル数の調整，移動モデルにそってパーティクルを移動させ，拡散させ次の処理への準備をする．

3　実験

本手法をノート PC（CPU：Pentium4-3.6GHz，OS：WinXP）に VC++.NET に Intel CPU に最適化される OpenCV ライブラリを利用して実装した．ロボットには ActivMedia 社製 Pioneer3 DX-8 を使用した．カメラには IEEE1394 カメラ（30 万画素）を利用した．

3.1　人物追跡実験

実験室 3・廊下 (情報棟 2F) で追跡実験を行った．追跡実験の様子を図 3 に示す．

3.2　実行結果

処理速度・画像上での追跡性能・実空間でのロボットの追跡性能の結果を示す．

■処理速度　追跡人物決定モードで 25FPS（Frame Per Second），人物追跡モードで 16FPS となった．

■画像上での追跡性能　上記の追跡とは別のシーケンスで画像上における両足下端の認識率を出した．両足それぞれの追跡性能は左足 94.9%（391（frame）/412（frame）），右足 63.5%（262/412）となった．

■実空間での追跡性能　追跡性能評価のために「直線」「カーブ」の 2 パターンの経路をとる追跡実験を行った．直線経路での追跡性能は 83%（5(回)/6(回)），カーブを配した経路では 83%（5/6）となった．

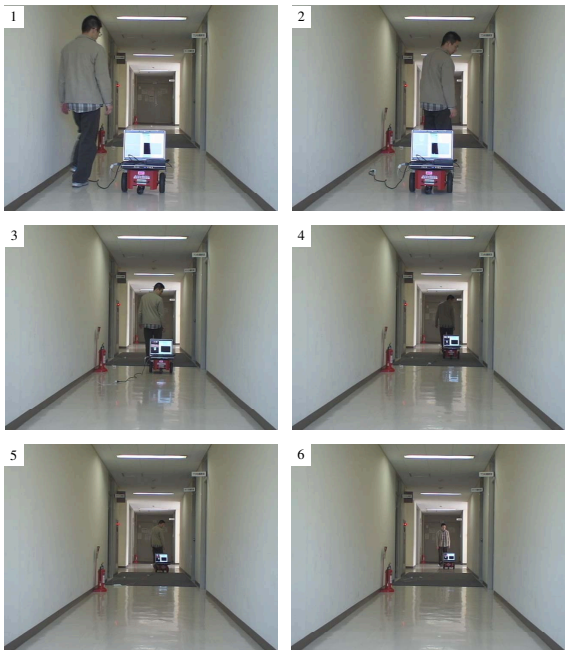

図 3　追跡の様子

4　考察

画像上での追跡性能・実空間でのロボットの追跡性能の面から考察を行う．

■画像上での追跡性能　現在予測を単純な線形予測 + パーティクルの拡散によって対応しているが，線形予測のための移動量を決める際，足が変な方向に移動した際に予測が外れてしまい追跡に失敗してしまうことがあった．対策としてはフィルタリングによる誤差減少が考えられる．また似た色が同じシーンになった場合に失敗することがあった．これには予測を単純な線形予測だけではない別な予測法を使うことが対策として考えられる．

■実空間での追跡性能　追跡の際，パーティクルは人物を追跡できているが，ロボットの移動が間に合わず見失ってしまうことがあった．これには移動の際にロボットに与えている速度のゲインをより追跡に即したものに変更することが対策として考えられる．

5　まとめ

移動ロボットとそれに搭載されたカメラを利用することにより，Condensation を利用した両足分離追跡と人物位置予測に基づく人物位置推定を行い実空間上において移動ロボットによる追跡する手法を提案した．そして実際の屋内環境において人物の追跡実験を行った結果から提案手法が有効に働くことを示した．

参考文献

[1] 中野広樹，下脇克友，片山明伯，渡邊睦: ”カルマンフィルタを用いた人物位置予測に基づく自律移動ロボットの人物追跡システム”，第 22 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM，3F15，2004.
[2] 中野広樹，下脇克友，片山明伯，渡邊睦: ”カルマンフィルタを用いた足位置予測に基づく人物追跡自律移動ロボットの研究”，情報処理学会研究報告 2004-CVIM-146，pp.9-16，2004.
[3] M.Isard, A.Blake: ”CONDENSATION - Conditional Density Propagation for Visual Tracking”，Internatinal Journal on Computer Vision，29（1），pp.5-28，1998.