

複数移動ロボットにおける相互追跡の研究

山田 純一† 外園 宙† 山中 隆† 古賀 由紀夫† 渡邊 睦†
†鹿児島大学大学院 理工学研究科 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40

あらまし 本論では、障害物の存在する環境において、カメラとソナーセンサーを用いて障害物を認識し、背景と追跡対象を区別し追跡を行い、追跡対象を見失った際は探索を行う研究について述べる。

A study of multiple robots which track each other

Junichi YAMADA, Hiroshi HOKAZONO, Takashi YAMANAKA, Yukio KOGA,
Mutsumi WATANABE

Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University
1-21-40, Korimoto Kagoshima, 890-0065, Japan

Abstract In this paper we wrote about the method of obstacle recognition by using camera and sonar sensor, and divide target from background and track it, and when the robot lost target, the robot search it.

Key word: Person Tracking, Object Tracking, Autonomous Mobile Robot, Visual Navigation

1.はじめに

自律移動ロボットの研究の発展により、その用途は多彩になっている。例えば以下の用途が挙げられる。

- ・不審者を追跡する警備ロボット
- ・スーパーなどでの買い物かごロボット
- ・痴呆症による徘徊高齢者の監視ロボット

我々は、前記のロボットを実現させるためには、カメラによる視覚追跡システムが必要であると考え、安価な単眼カメラとソナーセンサーを備えたロボットで追跡を行う研究を行っている。[1]

本研究では、実環境でロボットを相互に追跡を行う研究を通して、人物や物体の追跡手法を提案する。

2.従来技術と課題

移動ロボットなどの移動視覚系を使った追跡の研究例として、オプティカルフローを使った手法[2][3]や、追跡対象の特徴を利用した手法[4][5]が挙げられる。

従来の研究において追跡対象を見失った場合、追跡対象が現れるまで待つといった対処や、その場で回転して追跡対象がいないか探索を行うといった対処を行うが、例えば追跡対象が障害物等で遮蔽してしまった場合に動作が硬直する恐れがある。

本研究では、追跡対象を見失った場合、なぜ見失ったか、追跡対象が現在どこにいるのかを推論し、探索を行う事によって、高速に追跡対象を再発見することを目的としている。

3.処理の流れ

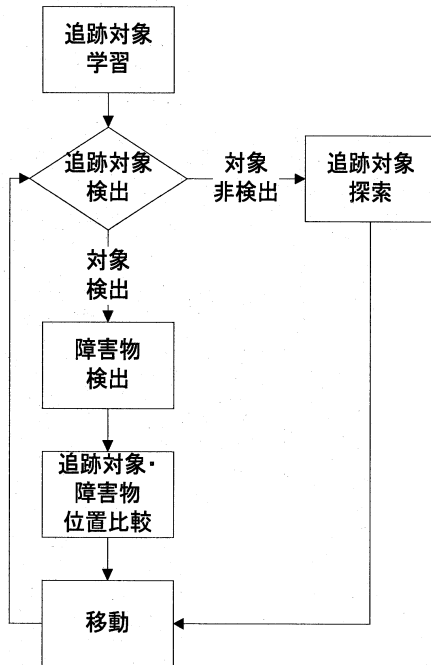


図1 追跡ロボット処理の流れ

本システムの追跡ロボットのフローチャートを図1に示す。

追跡対象となる人物や物体を学習し、学習した情報に基づき追跡対象の検出を行う。追跡対象を検出できた場合は、続けて障害物の検出を行い、追跡対象と障害物の位置を比較して、追跡の妨げになる位置に障害物がある場合は、障害物を回避した後、対象の追跡を行う。障害物が追跡の妨げとならない場合はそのまま追跡を続行する。追跡対象を検出しなかった場合、追跡対象がどこにいるか推論し、探索を行う。ロボットに制御データを送信した後、追跡対象検出処理に戻り、処理を繰り返す。

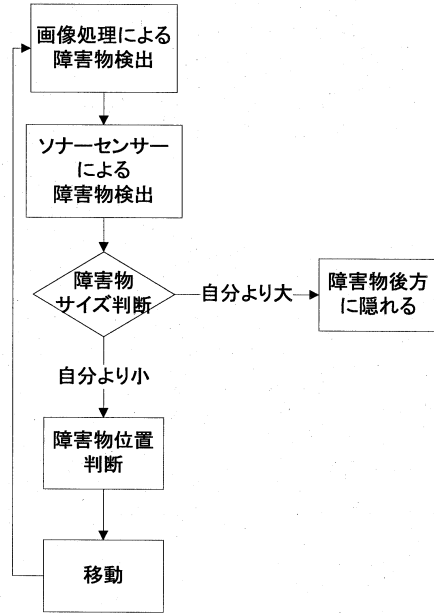


図2 被追跡ロボット処理の流れ

本システムの、被追跡側の処理の流れを図2に示す。

障害物検出方法は、追跡側と同じ処理を行っている。障害物の大きさを判断し、自分よりその大きさが大きい場合、その後方に隠れる。障害物の大きさが自分より小さい場合は、障害物までの距離が遠い場合は直進し、障害物までの距離が近づくとつれカーブ・その場回転の順で動作を切り替える。

3.1 ロボット検出

ロボットと背景を分離する方法としてロボットにマーカを付ける方法があるが、本研究では、追跡対象を学習して、区別できるシステムの構築を目指している。本稿執筆時に、該当部分が未完成であるため、手動でロボットの色情報を入力し、色情報によってロボットと背景を区別した。

3.2 障害物検出

カメラ画像にエッジ処理を施すと、障害物のエッジ以外に、小さなゴミのエッジや、均質でない床面の場合、床面のエッジも検出してしまふ。このような長さの短いエッジを出すものはロボットの走行の妨げと成り得ないため、カメラ画像に平均化処理を施し、cannyエッジ処理でエッジ抽出を行い、エッジの長さを測り、閾値より長さの短いエッジを削除した。

処理後の画像の下端からエッジまでをロボットの画像ベースの移動可能空間とした。これに、ソナーセンサーの距離情報を統合し、画像とソナーセンサー双方で移動可能と判定した箇所を最終的な移動可能領域とした。

3.4 ロボット移動

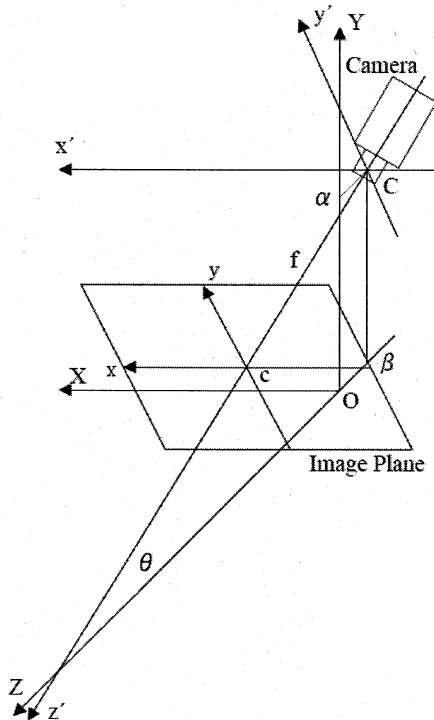


図3 画像座標系・カメラ座標系・
ワールド座標系の関係

本章1節で画像中におけるロボットの下端座標を特定した後、ワールド座標系へと変換し、その座標へ移動することによって追跡を行っている。

画像座標系・カメラ座標系・ワールド座標系の関係を図3に示す。画像座標系からロボット座標系への変換にあたり、カメラ座標系へと一旦変換する。画像座標系とカメラ座標系の関係式は(1)によって示される。ここで、 x, y は画像座標系の座標、 x', y', z' はカメラ座標系の座標を表す。

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \quad - (1)$$

ロボットに対するカメラの位置・姿勢から、カメラ座標系とロボット座標系には(2)に示す関係式が成り立つ。 X, Y, Z はロボット座標系の座標を表す。また、 α, β はロボットの原点からそれぞれY軸・Z軸方向におけるカメラの設置位置、 θ は床面とカメラ光軸中心のなす角を示す。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix}$$

- (2)

しかし、これでは未知変数が4つ以上になるためロボット座標系への変換ができない。そこで、物体の下端は床面上に存在するという仮定を入れる。そうすると $Y=0$ となるため変換が可能となる。その変換式は(3)を使って表される。

$$\begin{cases} X = \frac{s}{f} x \\ Z = s \left(\frac{y}{f} \sin \theta + \cos \theta \right) + \beta \\ s = \frac{\alpha}{\frac{y}{f} \cos \theta - \sin \theta} \end{cases} \quad - (3)$$

3.3 追跡対象探索

追跡対象を見失った際、見失う直前の動作を基に、なぜ見失ったか、現在どこに追跡対象がいるかを推測し探索を行う。

まず、追跡対象を障害物の存在しない場所で見失った場合は、追跡対象がカメラの撮影範囲外に出てしまったと推測されるため、追跡対象を見失う直前に移動していた方向へロボットを回転させ、追跡対象がいなか探索を行う。

次に、追跡対象の移動方向に障害物が存在した場合、障害物によって追跡対象が遮蔽していると推測されるため、障害物の後方の探索を行う。

4.実験結果

4.1 障害物検出



図4 元画像

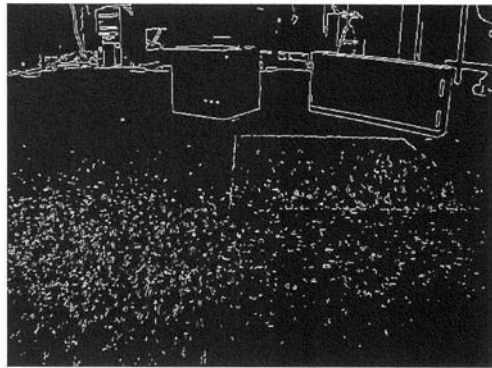


図5 エッジ画像

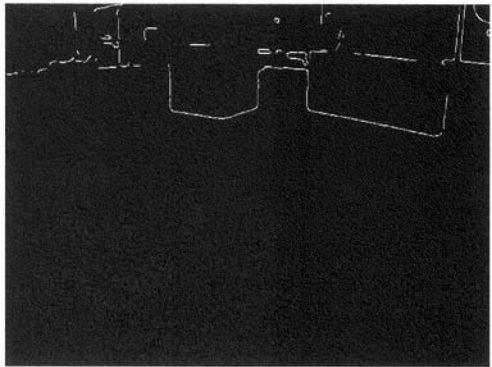


図6 除去画像

図4の画像に障害物検出処理を行った結果の画像を図6に示す。比較として図4画像をエッジ処理した画像を図5に示す。図5と図6を比較して、図5において床面に存在している微細なエッジが除去できているのが確認できる。また、正面にある物体のエッジは削除されていないことが確認できる。

4.2 障害物回避実験



図7 実験風景

図7に示す、障害物の存在する室内において、三分間の障害物回避動作を三回行い、ロボットが障害物を認識・回避し接触しなければ成功、ロボットが障害物に接触した回数を失敗の回数として実験を行った。尚、毎回障害物の位置をランダムに変更した。

実験の結果、障害物の回避に成功した回数は94回、失敗した回数は0回であった。

4.3 追跡実験

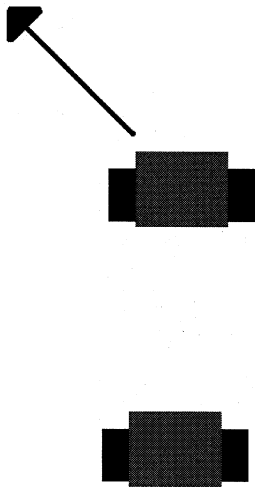


図8

障害物の存在しない室内において、図8の矢印に示すように、斜め前方方向へ移動するロボットを10回追跡する実験を行った。実験の結果、8回追跡に成功し、2回追跡に失敗した。

追跡に成功した際のロボットの軌跡の模式図を図9へ示す。実線が被追跡側の軌跡、点線が追跡側の軌跡とする。

追跡に失敗した内訳として、速度が速すぎたためロボットの方向転換が追いつかず、カメラ撮影範囲外に追跡対象が出てしまったケースがあった。軌跡の模式図を図10に示す。また、障害物で無いものを障害物として検出し、障害物の回避を優先させた結果、ロボットをカメラの撮影範囲外に見失ったケースがあった。

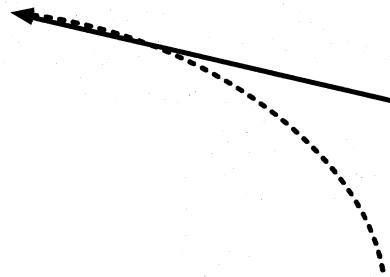


図9

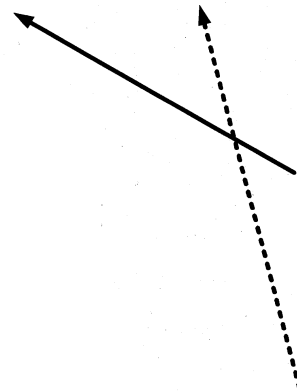


図10

5.まとめ

障害物の回避と、障害物の存在しない場合において追跡が出来ることを確認した。

本稿執筆時点で、追跡対象を学習し背景と追跡対象とを区別する部分、障害物を回避しつつ追跡を実行する部分、ロボットを見失った際の対処部分が未完成である。

追跡対象を学習し、区別する部分は、追跡対象の色情報を用いて存在確率分布を出し、確立の高い部分に範囲を絞って形状特徴とのマッチングを行うことによって出来るのではないかと考えている。

障害物を回避しつつ追跡を実行する部分は、障害物の位置を基に移動経路を策定し、移動すれば良いと考えている。

ロボットを見失った際の処理は、3章3節で述べた通りである。

また、現在は追跡対象を検出した場所へ移動することによって追跡を実現しているが、速度が速い場合に方向転換が遅れ追跡対象がカメラの撮影範囲外に出てしまう場合があったため、追跡対象の動作予測処理などによる改善の余地がある。

謝辞 本研究の遂行にあたり、ご指導を頂いた渡邊研究室の皆様に感謝致します。本研究は、文部科学省科学研究費補助金 18500137 の助成を受けて行った。

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.

[2] 古賀由紀夫, 片山明伯, 渡邊睦, 山本美子, 渡部悠紀, 岩田穆: "移動視測系における移動物体検出・提示システムの検討", 情報処理学会研究報告 2003-CVIM-136, pp.91-98, 2003

[3] 子安大士, 三浦純, 白井良明: "実時間全方位ステレオを用いたロボットナビゲーションのための移動物体認識", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'01, 2001

[4] 中北学, 青木義満, 橋本周司: "自律移動ロボット搭載を念頭に置いた実時間人物追跡システム", 第55回パターン計測部会研究会, pp.9-14, 2001

[5] 岡部公輔, 溝口博, 丸山大樹, 平岡和幸, 重原孝臣, 三島健稔, 吉澤修治: "人とロボットの歩行同期のための視覚による踵追跡・歩行ピッチ抽出", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'03, 2P2-3F-B6(1)-(2), 2003.