C12 画像ポインティングによるレスキューロボットの遠隔操縦における 目標経路生成と到達判定方法の提案

Proposal of Target Trajectory Generation and Arrival Judgment Method for Tele-operation of a Rescue Robot by Image Pointing GUI

○田村 祥 (岡山大学) 正 前山 祥一 (岡山大学)

Sho TAMURA, Okayama University, 3-1-1, Tsushima-naka, Okayama

Shoichi MAEYAMA, Okayama University

Key Words: Rescue Robot, Image Pointing GUI, Target Vector.

1. はじめに

一般に、レスキューロボットの遠隔操縦を行うインタフェースは、ジョイスティックやコントローラが用いられる。これらの操縦インタフェースは、高い操作性が期待できるが、操作量が多く、操作対象の動力学を学習する必要があるために、操作上達に時間や訓練を要するといった問題がある。これに対して、画像ポインティングを用いた操縦インタフェースは、操作量が少なく、容易であるため、オペレータはロボットの操縦に加えて、情報収集や救援活動などの作業を行うことが可能である。したがって、レスキューロボットの操縦インタフェースに画像ポインティングを用いることは有用であると考えられる。

操縦インタフェースに画像ポインティングを用いた研究はこれまでにも行われており、実験によりその有用性を示している[1][2][3]。しかしながら、従来の研究は、対象とする環境を既知環境や整地としており、環境が不整地と予想される災害現場では適用できない。そこで、本研究では、従来の手法を高さ成分を含む三次元に拡張し、不整地においても目標地点へ到達させる遠隔操縦システムの開発を目指す。

2. 不整地移動ロボットの遠隔操縦システム

本章では、従来の画像ポインティングを用いた遠隔操縦システムの概要と問題点、提案するシステムについて述べる。

2.1 画像ポインティングを用いた遠隔操縦システム

画像ポインティングを用いた遠隔操縦システムは、ロボットと操作 PC から構成される。まず、ロボットに搭載されたカメラから周囲の環境情報を獲得し、操作 PC に送信する。操作 PC では、獲得した画像情報をもとに GUI 画面を作成し、オペレータに提示する。オペレータは、提示された GUI 画面上で移動経路をポイント操作し、ロボットに指示を与えている。指示を受けたロボットは、到達目標までの移動距離を算出し、

Fig. 1 Tele-operation of a Mobile Robot by Image Pointing GUI

Fig. 2 Proposed method

達目標へと走行する (Fig.1).

従来の手法は、カメラ画像上に投影された到達目標を、整地上の位置 ($Z=0$) に座標変換しているために、高さ成分を考慮していない。そのために、従来の手法では、不整地において到達目標への到達ができない。不整地に適用するためには、従来の手法を三次元に拡張する必要がある。

2.2 提案するシステム

提案するシステムは、到達目標を高さ成分を含むベクトルで表現し、三次元の自己位置推定が可能なロボットを用いることで、不整地において到達目標への到達を実現する。

まず、操作 PC におけるカメラ画像上のオペレータの指示位置より「到達目標ベクトル」を導出する (Fig.2)。到達目標ベクトル導出後、ロボットを到達目標ベクトルに向けて走行させる。到達目標への誘導・到達判定には、到達目標ベクトルとロボットの三次元の自己位置を用いて行い、ロボットを到達目標へと到達させる (Fig.2)。

3. 到達目標ベクトルの設定

不整地において、ロボットの遠隔操縦を行う際は、高さ成分を含む目標地点を設定する必要がある。しかしながら、カメラ画像からは到達目標の高さ成分を求めることができない。そこで、本研究では、到達目標をベクトルで表現することにより、高さ成分を含ませる。このベクトルを「到達目標ベクトル」と呼び、既知であるカメラ位置と、整地上の到達目標との位置関係から導出する。

ロボットに搭載されたカメラ位置 $M_1(X_1, Y_1, Z_1)$ と整地上の到達目標 $M_2(X_2, Y_2, 0)$ の 2 点を求めることにより目標ベクトル $\vec{a}$ を導出する (Fig.2)。カメラキャリブレーションによりカ

Fig. 3 Line follow on X-Y coordinate plane

Fig. 4 Judgement of Arrival

メラ位置 $M1$ を算出し、透視投影による座標変換を用いて、カメラ画像上の指示位置から世界座標上(整地上)の到達目標 $M2$ を算出する [4].

$$\vec{a} = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_2 - X_1 \\ Y_2 - Y_1 \\ -Z_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

4. 到達目標への走行制御

目標地点到達のために、ロボットを到達目標に向けて走行させ、目標地点への到達を判定する必要がある。そこで、本章では、到達目標への誘導手法、到達判定手法について述べる。

4.1 到達目標への誘導手法

二次元の走行制御系と三次元の自己位置推定を用いて、不整地において到達目標へと誘導する。本研究では、二次元の走行制御系の中でも、直線追従走行を用いる。直線追従走行とは、ある指定された点を通る指定角度の直線へ追従走行することであり、二次元の自己位置推定値 (x, y) を用いてフィードバック制御を行う。本研究では、目標ベクトル $\vec{a}$ を $x-y$ 平面上に投影した直線を追従走行させる。フィードバック制御に用いる二次元の自己位置推定値 (x, y) に、三次元の自己位置推定値 (x_{3D}, y_{3D}, z_{3D}) の (x_{3D}, y_{3D}) を渡すことで $x-y$ 平面上での直線追従を可能とし、不整地において到達目標へと誘導する (Fig.3).

4.2 到達判定手法

到達判定には、到達目標ベクトルと三次元の自己位置推定値を用いる。目標ベクトルを目標地点到達の境界とみなし、 $x-y-z$ 空間を走行領域と停止領域に分ける。ロボットが走行領域内に位置する場合は走行を継続し、停止領域内に到達するとロボットを停止する (Fig.4).

5. 緩斜面における走行実験と結果

提案したシステムの有用性を検証するために、緩斜面にてロボットを到達目標に到達させる走行実験を行ったので報告する。対象とするロボットは「kenaf」であり、二次元の走行制御コマンドを備えており、到達目標への直線追従が可能である。また、二次元の自己位置、姿勢情報が獲得可能である。これらの情報を用いて三次元の自己位置推定を行う。対象とする環境は、ピッチ角 7° の緩斜面を含む岡山大学工学部 4 号館南側玄関口とした (Fig.5).

Fig. 5 Target environment

	Error x[cm]	Error y[cm]	Error z[cm]
Run up	2	-5	0
Run down	31	-20	0

Fig. 6 Result of Experiments

動作実験を行った結果、スロープの上昇、下降走行ともに到達目標への到達が可能であった。しかしながら、ロボットの停止位置とオペレータが指示した到達目標とに誤差が生じた (Fig.6). この誤差の大きさは、3 章で述べた到達目標ベクトルの精度と三次元オドメトリの精度により決定される。今回の検証実験における誤差は想定範囲内であり、実用上問題のない範囲だと思われる。

6. おわりに

本論文では、ロボットの操縦インタフェースに画像ポインティングを用い、未知な起伏面においてロボットを目標地点へ到達させる遠隔操縦システムの開発を目指した。到達目標をベクトルで表現し、そのベクトルと三次元オドメトリを用いた到達判定手法を提案した。そして、緩斜面における走行実験を行い、高さ変動のある環境において目標地点への到達が可能であり、提案手法の有用性を示した。

今後は、より不整地な環境への拡張を行う予定であり、実際の災害現場に近い環境への適応を可能とする。これには、凹凸な路面での走行制御系の開発が必要となり、そのためには未知環境における自己位置推定が重要となる。

本研究の一部は、NEDO「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」により実施されたことを記す。

文献

- [1] 小川 明臣, 前山 祥一, 田中 豊: “高速移動ロボットを遠隔操縦するための GUI の開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会'07 講演論文集, pp.2P1-L07(1)-(4), (2007).
- [2] Takeshi SEKIMOTO, Takashi TSUBOUCHI and Shin'ichi YUTA: “A Simple Driving Device for a Vehicle - Implementation and Evaluation”, Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.147-154, 1997.
- [3] Jennifer Kay, Charles Thorpe: “An Examination of the STRIPE Vehicle Teleoperation System”, Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1152-1157, 1997.
- [4] Z. Zhang: “A Flexible New Technique for Camera Calibration”. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11):1330-1334, 2000.