

## がれき撤去レスキューロボットの障害物回避軌道の生成

## Generation Methods of Obstacle Avoidance Trajectory Rubble Withdrawal Rescue Robots

○越川佳祐<sup>1</sup>, 藤井俊郁<sup>1</sup>, 小泉会矢<sup>2</sup>, 鵜田陽<sup>2</sup>, 羽多野正俊<sup>3</sup>\* Keisuke Koshikawa<sup>1</sup>, Toshifumi Fujii<sup>1</sup>, Harunao Koizumi<sup>2</sup>, Akira Tokita<sup>2</sup>, Masatoshi Hatano<sup>3</sup>

Abstract: The purpose of this research is to propose a generation method of obstacle avoidance trajectory of rescue robot. In order to operate the rescue robot autonomously, a trajectory for avoiding obstacles must be generated. In this report, we propose a method to obtain the optimal trajectory using reinforcement learning for the trajectory generated by the potential method.

## 1. 諸言

災害現場における倒壊しがれきの形状や質量, 積み重なった状態等は千差万別かつ未知であるため, レスキューロボットには, がれきのどの部分を掴み, どのように撤去作業を行えば, 積み重なったがれきを崩さず, また, 被災者うい危険に晒さずしがれきを撤去できるかを考えたアルゴリズムが必要である[1]. また, 災害現場における人員不足の原因とならないよう, レスキューロボットの操作は簡略化し, 極力レスキューロボットが自動で動作することが望ましい. レスキューロボットを自律的に動作させる際, がれきや他の建造物などに接触させないような軌道を生成し, 動作させる必要がある. そこで, 取得した周囲のがれき等の三次元環境データから, 障害物を回避するようにロボットを動かす軌道を生成する手法の提案を目的とし, 本報告では, そのための軌道生成とその性能向上に用いる強化学習について示す.

## 2. 実験用レスキューロボットとシステム

Fig. 1 に実験で使用するレスキューロボットを, レスキューロボットのシステム図を Fig. 2 に示す. このレスキューロボットは, 左右独立駆動の前輪と従動輪の後輪の計四輪構成となっており, 目標位置姿勢を与えるとフィードバック制御により目標地点まで移動する. また, 上部のマニピュレータは 3 リンク構造であり, 各軸に取り付けたポテンショメータから各リンクの現在角度を取得し, フィードバック制御を行う.

操作用 PC, 搭載小型 PC には LinuxOS の Ubuntu 14.04 と ROS(Robot Operating System)の indigo がインストールされている. また, コントロール側では手動での操作と目標値入力用に, 操作用 PC にゲームパッドを繋ぎ, レスキューロボット側では各リンクのアクチュエータや車輪がワンボードマイコンを含む制御回路を通し, 搭載してある小型 PC に接続されている. 二つの PC 間は ROS の分散機能を用いて, Wi-Fi を介した無線

通信によりデータの送受信を行っている.

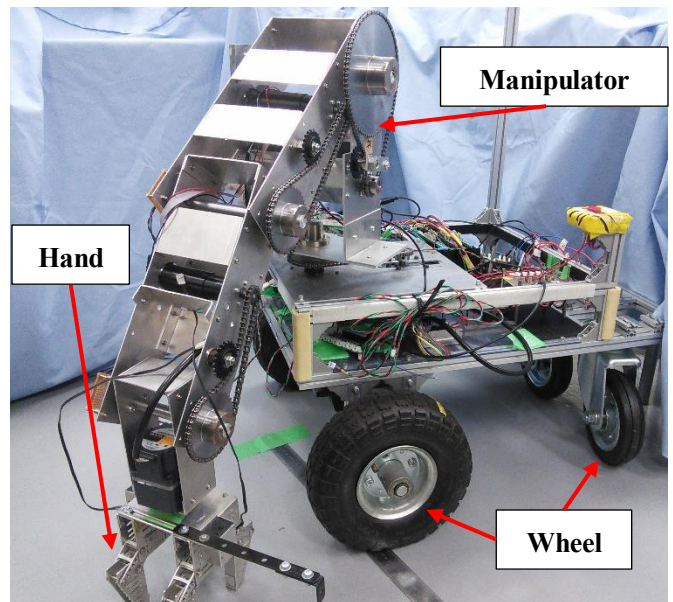


Fig.1 Overview of rubble withdrawal rescue robot

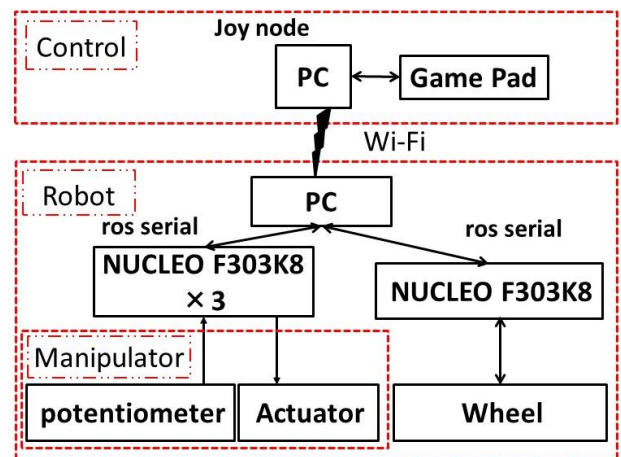


Fig.2 Control system

## 3. マニピュレータの軌道生成

災害現場でがれきの撤去作業をロボットが行う際, レスキューロボットのマニピュレータが周囲のがれきや構造物に接触し, 要救助者を危険に晒してしまうこ

1 : 日大理工・院 (前)・精機, 2 : 日大理工・学部・精機, 3 : 日大理工・教員・精機

とが無いように、マニピュレータの動作に注意しなければならない。作業の際には周囲に他の観測者を立て、操縦者の死角を補うなどをすればよいが、先にも述べたようにレスキューロボットは人員を割くことなく撤去作業をできることが望ましい。そのため、ロボットに距離センサなどの複数のセンサを搭載したりカメラを配置するなどして、死角を限りなく小さくしたり、周囲の三次元データを取得し、それらのデータから、マニピュレータと障害物の衝突を回避できるような軌道の計画を立てて動作させることが必要となる。進化ロボットのようにトライアンドエラーで動作計画を行うことも考えられるが、レスキューロボットの場合は障害物への接触やそれに伴うがれきの落下等が生じないように、測距センサによる三次元環境モデル構築とそのモデルベースの軌道生成手法が必要となる。

マニピュレータの軌道生成にはポテンシャル法を用いる。ポテンシャル法とは、探索対象となる空間において、目標地点 $x_d$ に向かってロボットを引っ張る引力ポテンシャル $U_{x_d}$ と、障害物からロボットを遠ざけようとする斥力ポテンシャル $U_o$ によって表現されるポテンシャル場 $U$ を形成し、初期位置からポテンシャル場の勾配の方向へ作られる人工の力 $F$ によってロボットは移動と動作計画を繰り返し、目標に向かう手法である[2]。以下はポテンシャル場 $U$ と人工力 $F$ を求める式である。 $\eta$ は正の係数、 $\rho(x)$ は障害物とマニピュレータの最接近距離を表す。

$$U = U_{x_d} + U_o \quad (1)$$

$$U_{x_d}(x) = \frac{1}{2}k_p(x - x_d)^2 \quad (2)$$

$$U_o(x) = \begin{cases} \frac{1}{2}\eta\left(\frac{1}{\rho(x)} - \frac{1}{\rho_o}\right)^2 & (\rho(x) \leq \rho_o) \\ 0 & (\rho(x) > \rho_o) \end{cases} \quad (3)$$

$$F = F_{x_d} + F_o \quad (4)$$

$$F_{x_d}(x) = -k_p(x - x_d) \quad (5)$$

$$F_o(x) = \begin{cases} \eta\left(\frac{1}{\rho(x)} - \frac{1}{\rho_o}\right) & (\rho(x) \leq \rho_o) \\ 0 & (\rho(x) > \rho_o) \end{cases} \quad (6)$$

ポテンシャル法では、初期位置からゴールの間に凹

型のような障害物がある場合、引力ポテンシャルと斥力ポテンシャルがつりあってしまい、ゴールに辿り着いていないにも関わらず停留してしまう、等の問題が起こる可能性がある。その問題に対して、停留点が存在しないポテンシャル場としてラプラスの微分方程式を利用するラプラス・ポテンシャル法などが提案されているが、空間の次元やグリッドの細分化によって計算量が飛躍的に増大するという短所がある[2]。また、ポテンシャル法では障害物を回避する最短軌道を求めることは出来るが、がれき撤去等における最適な軌道とは限らない。そこで、マニピュレータの動作計画に対し強化学習を用いることで、得られた軌道に対して評価を行い最適な軌道を選択できるようにする。

強化学習とは、ある環境において試行錯誤によって価値（利益）を最大にするような行動の学習である。行動の主体を「エージェント」と呼び、エージェントは行動決定の「方策」を最大の価値を得られるものになるよう学習していく。強化学習の代表的なものとしてQ学習などが挙げられる。

がれき撤去作業において、積み重なった状態のがれきは不安定であり、衝撃を加えると崩壊するおそれがあるので、軌道の評価基準としてマニピュレータの姿勢変化に着目する。がれきを把持した状態で、マニピュレータの姿勢が大きく変化すると、車体部分の重量バランスが崩れ、足元のがれきの崩落やレスキューロボット本体の転倒につながる危険もあるので、マニピュレータの姿勢変化が小さくなるものに高い評価をつけるようパラメータを学習させる。

#### 4. 結言

本発表ではがれき撤去レスキューロボットのマニピュレータの障害物回避軌道生成に関する手法を示した。今後は実機のレスキューロボットでの実証実験と共に、強化学習におけるパラメータの最適化を図る。

#### 5. 参考文献

- [1] 各務竜平 「がれき撤去ロボットによる未知形状がれきの撤去作業に関する研究」 2015 年
- [2] 太田 順・倉林 大輔・新井 民夫 「知能ロボット入門 -動作計画問題の解法-」 2001 年