

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06102

研究課題名（和文）訓練事例を用いたレスキューロボット遠隔操作支援システムの開発

研究課題名（英文）Development of tele-operation support system for rescue robot operator using failure experiences of training

研究代表者

河野 仁（Kono, Hitoshi）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・特任研究員

研究者番号：70758367

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、レスキューロボットの遠隔操作訓練時に、操作の失敗に繋がるような危険な環境を事前に記録し、実際の遠隔操作本番時にその環境と近い状態に遭遇した際には、オペレータに注意喚起を行う遠隔操作支援システムの開発を行った。具体的には、遠隔操作されるレスキューロボット上にレーザー測距計を搭載し、レスキューロボット周囲の環境情報（距離情報）記録手法と、記録した環境情報と現在の環境の類似度比較アルゴリズム、注意が必要な環境に遭遇した場合はオペレータへの遠隔操作画面に色を表示し注意喚起を行うシステムの開発と構築を行い、提案システムを実現する基礎的技術を実現した。

研究成果の概要（英文）：In this research, a tele-operation support system for rescue robot operator using failure experiences of training was proposed, and its element systems were developed. This system presents the alert sign in the tele-operation window when the rescue robot detect the similar environment compared with experienced perilous environment using distance information which obtained via laser range sensors on the robot. During this research period, storing systems of the perilous environmental information based on distance, comparing algorithms between perilous environment and current environment in the actual operation, and the reminder systems of alert from the rescue robot, were developed. Moreover, developed system was confirmed that the effectiveness of detecting perilous environment in the simplified experimental environments.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：遠隔操作支援 注意喚起 レスキューロボット 知能ロボット

1. 研究開始当初の背景

震災などの被災地における迅速かつ確実な情報収集活動の実現が喫緊の課題である。人手による直接的な情報収集活動だけでなく、2次災害の危険性などの理由から、近年では様々なロボットシステムが環境情報の収集のために被災地に導入され多くの成果を得ている。しかし、それと同時にロボットが転倒し帰還不可能になる物や通信ケーブルの切断、スタックなど様々なトラブルに見舞われている。原因として想定外環境でのロボットシステムの利用や、訓練不足、ロボットシステムの周囲環境情報の不足など、様々な要因が考えられる。これらの事故や失敗はロボットシステムが回収できないだけでなく、被災地情報の収集という本来の目的を果たせず、その後の復旧・復興活動にも支障をきたす可能性がある。このようなトラブルを回避するために、頑健で高機動なロボットシステムの開発や、遠隔操作性の向上が重要であり様々な研究が行われている。これらのシステムは遠隔操作に必要不可欠であるといえる。また、ロボットシステムの動作における意思決定は基本的に人間が行う。そのため、ロボットシステムが置かれている環境の情報を多くオペレータに提示する場合、オペレータは様々な情報、操作画面に気を配る必要がある。したがって、ある程度の情報はロボットシステム側で判断し、処理後の情報をオペレータに提示する半自律な遠隔操作支援技術も重要である。一方、平時からのロボットシステムの活用や災害対応のための訓練を行うことで、ロボットシステムを被災地に即投入できる。現在、ロボットシステムの性能向上に関する研究は多いが、運用を含めた研究は少ない。平時からロボットシステムの遠隔操作訓練を行うことを始め、実際の現場でロボットシステムを活用するためには、訓練時の事例を他者の訓練や実際の現場で活用することが重要である。実用化して間もない災害対応ロボットシステム（以下、レスキューロボット）における遠隔操作では、自動車や建設機械の運転と異なりエキスパートが少なく、さらに被災地は環境状態が想定し難いため常に臨機応変な操縦が要求されると考えられる。そのため、臨機応変な操縦を支援することを目的として、遠隔操作支援や訓練事例の蓄積・活用が重要である。

2. 研究の目的

本研究では、臨機応変な遠隔操作を妨げず、少なくとも過去の遠隔操作ミスや失敗事例を再現させないことを目的として、遠隔操作訓練時における注意すべき環境を記録・活用する遠隔操作支援システムの開発である。

3. 研究の方法

本研究で開発するシステムの概略図を図1

に示す。また、本報告書では図2に示すクローラ型レスキューロボットを用いる。図1において、まずオペレータは遠隔操作訓練時、遠隔操作ミスなどにより落下やスタックなどを起こした場合、その環境を記録するシグナルをユーザインタフェースを用いてレスキューロボットに送信する。そのシグナルを受信したロボットは、周囲の物体までの距離情報を環境情報として記録する。記録した注意すべき環境情報はレスキューロボット内で保存され、実際の現場にてレスキューロボットが注意環境と類似する環境を観測した場合、レスキューロボットはオペレータに注意喚起を行う。提案手法の効果として、訓練時の情報を本番で活用できるだけでなく、他者の訓練情報も保存・活用が可能となる。そのため、遠隔操作初心者の訓練支援などにも応用できると考えられる。以下から各要素機能について詳細を述べる。

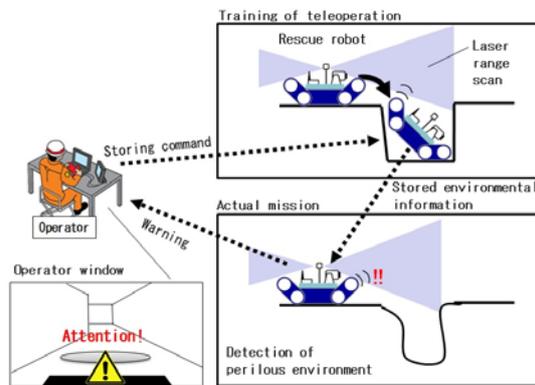


図1 提案システムの概念



図2 使用するレスキューロボット

(1) 注意環境の記録

環境情報の記録にレスキューロボット周囲の壁や天井、障害物までの距離を用いる。距離センサとしてはレーザ測距計 (Laser range finder: LRF) を用いる。レスキューロボットに実装された LRF から得られる情報は、各計測角度における距離データとする。LRF から得られる環境情報は、データ数が多く処理の計算コストが高くなる可能性があると同時に、全ての距離情報を記録したとしても、類似した環境の検知が困難となる。一方、例

例えば 1 つの距離データのみで環境を観測すると、レスキューロボットは常に注意環境を検知する可能性も有り、LRF の使用データ数と類似環境の検出性能はトレードオフの関係にあるといえる。本研究課題では、LRF から有限個の距離情報が得られるとして注意環境を定義する。レスキューロボットが注意環境と遭遇した場合、オペレータが遠隔操作インタフェースを用いてレスキューロボットに適宜その環境情報を記録する指示を与える。

(2) 注意環境の事前検知

前節で述べた方法により、遠隔操作時の注意環境が記録される。注意環境は既に事故に遭遇している状態であるため、注意環境と遭遇する前に検知し、オペレータへ注意を促さなければならない。そこで、注意環境とした環境状態に斥力ポテンシャル（以下ポテンシャル）を持たせ、レスキューロボットが現在観測している状態と、注意環境の状態間のユークリッド距離を元にポテンシャルを算出する。ポテンシャルを計算することで、注意環境に接近するごとに訓練時に経験した遠隔操作ミスが再発するリスクが高くなることを提示できるようになる。レスキューロボットはオペレータに対して常にポテンシャルを提示し、注意環境との接近を認識させる。

(3) 注意環境検知距離

本研究課題の手法では訓練時に記録された注意環境を事前に検知する必要があるが、事前に検知しなければならない注意環境からの距離を定義した。これは、ロボットが観測した情報（e.g. カメラ画像やセンサ情報）を通信伝送路を介してオペレータの遠隔操作卓に送信し、それを見たオペレータが迅速に次の行動の指示を遠隔操作卓に入力、その指示がレスキューロボットに伝達されるまでの時間を計算する。その時間にロボット移動速度を掛けることにより、注意環境を回避するのに間に合わない距離が計算され、その距離より先に注意喚起することで注意環境との接近を避けることが可能である。ここでは、計算機の処理遅延や、人間の判断などによる時間遅延は考慮しないものとする。

4. 研究成果

本実験の目的は、まず 1 つの注意環境をレスキューロボットに記録させ、その後レスキューロボットが同様の環境に遭遇した場合にポテンシャル値が上昇するか確認することである。また、類似した注意環境においても、上記と同様にポテンシャル値が高くなり、オペレータへの注意喚起が可能となることを確認する。

(1) 実験環境と条件

本稿では基礎的実験として、レスキューロ

ットが壁に衝突した環境を注意環境とする。まず、図 3 のように、壁から 2m 離れた場所をレスキューロボットの初期位置とし、そこから壁に向かって遠隔操作により移動する。壁に衝突した段階で、オペレータはレスキューロボットに注意環境を記録する指令値を与える。その後、図 3 を基に本実験では図 4 のように壁隣に置かれた箱やテーブルにより低い天井を再現した環境を用いて合計 3 種類用意する（表 1）。

Condition 1 の環境としては、壁のみを用いた環境である。この時、レスキューロボットは壁への衝突をポテンシャル値を用いてオペレータに出力する。Condition 2 は壁の前面に箱を配置し、注意環境を記録した時と異なる形状を持つ壁に接近した際のポテンシャル値の変化を確認する。Condition 3 は壁の前面に高さ 680mm のテーブルを配置し、レスキューロボットから見て低い天井が存在する環境での壁へ接近した際のポテンシャル値の変化を確認する。

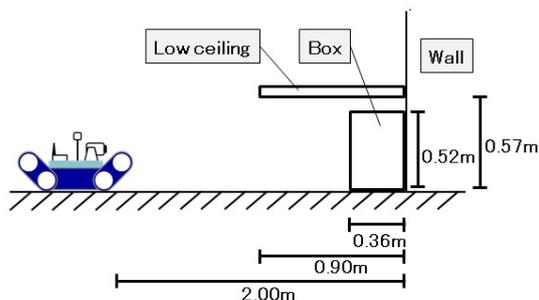


図 3 実験環境

(2) 実験結果

Condition 1 から Condition 3 までのポテンシャルの推移を図 4 に示す。Condition 1 のポテンシャル値の推移（図 4 中の赤色プロット）では、壁に近づくにつれてポテンシャル値が上昇し、注意環境への接近をオペレータに提示できることを確認した。

Condition 2 では図 4（青色プロット）において、Condition 1 と異なり壁面に箱が置かれているため、ポテンシャル値の上昇が比較的緩やかである。しかし、レスキューロボットが箱に接近し、LRF が測定している 3 つの距離情報の全てが箱との距離を測定したとき、ポテンシャル値は 0.9 付近まで上昇している。これにより、注意環境検知距離より手前の位置でポテンシャルが上昇し、オペレータへ徐々に注意環境との接近を提示しながら箱との距離が近くなると急激にポテンシャル値を上昇させ注意喚起が可能である。

Condition 3 の図 6（緑色プロット）では、低い天井付近に近づくまではポテンシャル値は他の実験条件と同様に低い傾向が発現しているが、0.6m 前進した位置から急激にポテンシャル値が上昇している。これはレスキューロボットが正面の壁に近づき、センサに低い天井までの距離が入力されたことが

理由である。結果的には、天井が低く正面に壁があるような環境においても、注意環境に接近するにつれてポテンシャル値が上昇し、オペレータへの注意喚起が可能となる。

実験結果より、壁に衝突した環境状態、すなわち注意環境を記録し、その後同様の環境でレスキューロボットが注意環境に接近するほど、提案手法によりポテンシャル値が上昇し、オペレータへの注意喚起が可能となることが実験結果から示された。さらに、壁の正面に箱を配置したり、テーブルなどを用いて低い天井を再現した環境においても、上記と同様の結果が得られ、注意環境と類似の関係にある環境においても、オペレータへの注意喚起が可能となることが示された。

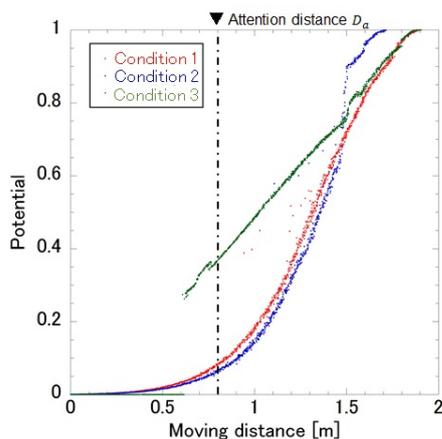


図4 核実験条件における移動距離に対するポテンシャル値の推移

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Hitoshi Kono, Musab Obaid Al hammadi, Yusuke Tamura, Atsushi Yamashita and Hajime Asama, Distributed Cooperative Fault Diagnosis Method for Internal Components of Robot Systems, International Journal of Intelligent Systems and Applications in Robotics, vol.8, no.1, pp.1-11, 2017. (査読有)
<http://www.cscjournals.org/library/manuscriptinfo.php?mc=IJRA-167>
- ② Hitoshi Kono, Warning System and Storing Method of Perilous environment for a Teleoperated Robot Operator, International Journal of Control Systems and Robotics, vol.2, pp.16-22, 2017. (査読有)
<http://www.iaras.org/iaras/home/caijcsr/warning-system-and-storing-method-of-perilous-environment-for-a-teleoperated-robot-operator>

[学会発表] (計2件)

- ① 河野仁, 伊藤祐希, 郡司拓朗, 神村明哉, 富田康治, 鈴木剛, “強化学習の方策再利用時におけるステップ単位の方策忘却手法”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2P1-F06 (CD-ROM), ビックパレットふくしま (福島県, 郡山市) 2017年5月12日.
- ② 河野仁, 田村雄介, 山下淳, 神村明哉, 富田康治, 鈴木剛, 浅間一, “ロボット遠隔操作のためのポテンシャル法を用いた注意環境の記録と提示手法”, 1P1-15a6 (CD-ROM), パシフィコ横浜 (神奈川県, 横浜市) 2016年6月9日.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://irsl01.em.t.kougei.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河野 仁 (KONO, Hitoshi)

東京大学・大学院工学系研究科・特任研究員

研究者番号：70758367

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者 なし