複数台のレスキューロボットを遠隔操縦するための GUI と被災地用 マルチホップ無線ネットワーク機器を自動配置するシステムの評価 Evaluation of plural rescue robots remote control GUI and multi hop wireless network device distributing system

○ 西橋 哲郎 (岡山大) 学 松下 史弥 (岡山大) 学 村上 典彦 (岡山大)
正 亀川 哲志 (岡山大) 正 五福 明夫 (岡山大) 佐藤 徳孝 (電通大)
大村 誠司 (トピー工業) 宇夫 陽次郎 (IJJ) 正 松野 文俊 (電通大)

Tetsuro NISHIHASHI, Fumiya MATSUSHITA, Norihiko MURAKAMI,

Tetsushi KAMEGAWA, Akio GOFUKU, Okayama Univ.

Noritaka SATO, Fumitoshi MATSUNO, UEC

Seiji OOMURA, Topy Industries Ltd. ,Yojiro UO, Internet Initiative Japan Inc.

Abstract: We developed new rescue robot system that plural rescue robots are remotely controlled by one operator. In this system, a pioneer type robot put multi hop wireless network devices to extend area that surveyor type robots are able to search victims and surroundings in a damaged building. In this paper, evaluation of GUI interface to operate plural rescue robots and distributing system of wireless network device are shown.

Key Words: rescue robot, GUI for plural robots remote control, putting of multi hop wireless network device

1. はじめに

近年、大地震等の自然災害や事故等の人為災害で倒壊した建物の内部を探索して要救助者を見つけ出すレスキューロボットの研究開発が推進されている。レスキューロボットを用いる事により、二次災害による被害の防止や人が入れない場所での探索が可能となると期待されている。しかし従来のレスキューロボットは、1人の操縦者が1台のロボットを操縦するというシステムが主流であった。そこで、我々はインフラの整備されていない被災建物内において、さらに効率の良い探索を行うために複数台のレスキューロボットを運用するためのレスキューロボットシステムを開発してきた¹⁾²⁾³⁾。この中には、複数台のロボットを遠隔操縦するための GUI や、多数のロボットを広範囲にわたり遠隔操縦するための「被災地用マルチホップ無線ネットワーク機器」(以下、Robohoc デバイスとする)が含まれている。本稿では、上記の GUI の操作性、柔軟性、汎用性を向上させる事と Robohoc デバイスを格納するケースを設計、製作してロボットがこれを設置するシステムを構築する事を目的としてそれぞれ試作、改良を行い、これらを評価した結果を示す。

2. システムの構成

2.1 高機能兄弟型移動プラットフォーム

Fig. 1 に本研究で使用したレスキューロボットを示す。Fig. 1 中の左側のロボット (以下、兄ロボットとする) は

Fig.1 Developed mobile robot platforms (left:pioneer type,right:surveyor type)

ロボット群の中に1台存在しており、主に手動で遠隔操縦され、自身に搭載された Robohoc デバイスを設置していく。右側のロボット (以下、弟ロボットとする) はロボット群の中に複数台存在し、特定の探索アルゴリズムに基づいて半自律的に要救助者の探索を行う想定となっている。弟ロボットは必要に応じて手動で操作する事も可能である。どちらのロボットも階段の昇降や不整地での走行が可能である。兄ロボットと弟ロボットのハードウェアのスペックは、文献 1) を参照されたい。

Fig.2 Composition of each element and network

Fig.3 Display of the GUI

2.2 ネットワーク構成

本研究で改良した GUI から複数台のロボットを無線で遠隔操縦し、様々な実験を行うために Fig. 2 に示すネットワークを構成した。本稿の実験では Robohoc デバイスは使用していないが、Robohoc デバイスを使用したマルチホップの環境でも同様に複数台のロボットの遠隔操縦が実現されている。図中のフロントエンド用 PC には、GUI 及びロボットから送信される UDP プロトコルのデータの整理を行うためのフロントエンドサーバが実装されている。

3. 複数ロボット操縦用 GUI

3.1 GUI の概要

本研究で改良した複数ロボット操縦用 GUI を Fig. 3 に示し、各要素の名称とその機能を以下に述べる。

- A: 画像配信方法選択パネル: ロボットがカメラ映像を 1 枚の画像として送信するか、1 枚の画像を分割したデータとして送信するかを選択する。
- B: カメラ映像パネル: ロボットから送られてきた

前方カメラ及び俯瞰視点カメラの映像を表示する。

- C: カメラクオリティ変更ボタン: ロボットから送信されるカメラ映像の圧縮率とフレームレートを交える。切替ボタンでどちらを変えるか選択し、スライダーバーで調節を行う。
- D: カメラ選択パネル: ロボットのどのカメラの映像を送信するかを選択する。
- E: 走行モード選択ボタン: 操縦者が選択したロボットに 4 種類の走行モードの指示を出す。各ボタンの機能は左から順に「停止」「手動操作」「左手法」「右手法」の指示を出す。
- F: LRF データ表示パネル: 選択されたロボットの LRF のデータがロボットを中心に表示される。また、このパネル上をクリックする事により、指示した方向にロボットが自律走行するモードになる。
- G: 複数ロボット操作・情報表示インターフェイス: 本研究において GUI を改良するにあたり実装したインターフェイス。3 枚のタブパネルから構成されており、複数ロボットの走行モード表示や一括選択が可能である。
- H: ロボットパネル: H はロボットの状況 (操作モード・通信状況・OpenGL による 3D モデル) を表示するパネルである。パネル上をクリックする事でロボットの選択または選択の解除が行える。選択されている時はパネル回りが青色に変化し、選択されたロボットに GUI からのコマンドを送る事が出来る。H, H', H'' はそれぞれ兄ロボット用、弟ロボット用、移動台車用 (本研究で新たに追加) であり、設定したロボットの数だけパネルの増減が可能である。
- I: スクロールバー: ロボットパネルは画面右方向に追加されていくため、画面外のロボットの状況を知るためにはこのスクロールバーをドラッグしてロボットパネルを表示する。

3.2 GUI 操作量の評価実験

構築した GUI の有効性を評価するために、一定のシナリオを遂行する時の操作量に関する実験を行った。実験では、7 台のロボットが存在すると仮定 (実際には兄・弟・移動台車 2 台の計 4 台が存在) して、まず兄ロボットを手動で操作し、その後弟ロボットと移動台車に自律探索の指示を出すという一連の操作を 5 名の被験者 (ロボットの操縦が初めての理系男子学生) に実施してもらった。その際に GUI 画面上でマウスカーソルが移動した距離とクリックした回数を計測し、Fig. 3 の G のインターフェイスを追加した改良の前後でそれぞれの値を比較した。実験によって得られた結果を Fig. 4 に示す。Fig. 4 より、マウスカーソルの移動距離が改良前の GUI に比べ改良後

Fig.4 Moved distance of mouse cursor and number of times of mouse click

は平均で約3分の1に減少している。また、クリックの回数も平均で改良前の約半分に抑えられた事が分かる。さらにいずれの結果も、被験者間の値のばらつきが改良後では小さくなっている。評価実験により、複数台のロボットを操作するための一括選択インターフェイスを追加することによってGUIが改良された結果、操縦者の操作量が減り、操作における負担が減ったことが確認できた。また、開発したGUIはロボットの数や種類が増えても柔軟に対応でき、ある程度の汎用性があることを確認した。

3.3 ロボットパネル内3次元CGの構築と評価

レスキューロボットを遠隔操縦するにあたり、ロボットに搭載された各種センサの状態やロボットの状態をFig. 3のHのロボットパネル内で視覚的に描画する事でロボットの遠隔操作性の向上を図っている。無線の帯域が保証されない環境において、俯瞰カメラ映像以外の通信帯域を圧迫しないデータを用いて客観的なイメージを操作者に提示することは、非常に重要である。Fig. 5に3次元CGモデルを示す。左側が兄ロボット、右側が弟ロボットの3次元CGである。ロボットの3次元CGモデルはOpenGLを用いて作成し、必要な部分以外を省略する事で描画にかかる負担を極力減らしている。作成した3次元CGモデルでは、ロボットの姿勢描画、多目的アーム等の可動部の動き、壁を描画する事による障害物までの距離表示、速度に合わせたクローラの動き、クローラの色を変える事によるロボット内部モードの表示等の機能を搭載している。

3.4 3次元CGの評価実験

本研究ではこの3次元CGの有効性を示すために、3次元CGモデルがある場合と無い場合について、被験者が弟ロボットを遠隔操縦して迷路内の走行を行った結果を比較した。被験者は理系学生10名とし、3次元CGが無

Fig.5 Three dimensional CG model

Fig.6 Course with obstacle

い場合のGUIはロボットの前カメラ映像(Fig. 3のB)と2次元LRF(Fig. 3のF)の情報のみが提示される。3次元CG有りの場合はこれに加えて3次元CG(Fig. 3のH)を提示する。評価の指標として、迷路走行に要した時間とロボットが障害物に衝突した回数を測定した。また、前方カメラ映像、2次元LRF画面、3次元CGモデルの画面を見ていた割合についての主観的なアンケート調査を行った。

Fig. 6に迷路走行を行った環境を示す。実験を行った結果、迷路走行に要した時間は3次元CGの有無に有意差がほとんど見られなかった。これは、3次元CGによりロボット周辺の障害物の情報がはっきり分かり易い故に被験者が慎重に操作したためと考えられる。障害物に衝突した回数については3次元CGが無いGUIで平均2.8回であったのに対し、3次元CGが有るGUIでは平均1.4回と半分になり、3次元CGモデル画面の有の方が有効であった。アンケート調査の結果では3次元CGモデルが有るGUIの場合、3次元CGモデル画面を5割以上、2次元LRF画面は1割未満しか見ていないという回答が得られた。これら実験結果とアンケート結果から、3次元CGモデル画面は迷路走行中に俯瞰視点カメラと同様に障害物との距離を把握出来る等の点で有効であると考えられる。

Fig.7 Overview of multi hop wireless network device

4. Robohoc デバイスのケース設計と設置実験

4.1 ケースの設計と製作

兄ロボットが運搬・設置する Robohoc デバイスのケースの形状は兄ロボットにより多く搭載出来るようにコンパクト、かつ軽量である事が望ましい。また、無線電波のフェージングを防ぐために空間ダイバーシティ法をとり入れ、アンテナ間の距離を波長分 (125[mm]) はなす設計となっている。以上の事を考慮にいれ、3次元CADで外形を設計し、ABS樹脂を素材として3次元プリンターで製作した Robohoc デバイスを Fig. 7 に示す。重量は 1055[g]、サイズは L:197 × W:150 × H:109[mm] である。

4.2 自動設置システムの構築と有効性の検証

作製した Robohoc デバイスは、ケースのフックに兄ロボットのアームを引っ掛け、兄ロボット上の積載スペースから Robohoc デバイスを吊り下げて環境に設置する。この操作を遠隔操縦によって行う場合、兄ロボットに搭載された俯瞰視点カメラの限られた視点・視野では設置操作が困難である。そこで無線中継器設置の一連の動作を自動化し、その有効性を検証した。

被験者は6名の理系学生で、まず目視による手動設置及びカメラ映像を見ながらの手動遠隔設置を行い、次に、自動設置を実施してもらった。実験の結果を Fig. 8 に示す。実験により、目視よりも遠隔での設置操作の方が難しく、設置に多くの時間がかかる傾向がある事が分かる。自動設置では目視、遠隔いずれの手動設置操作よりも短時間で設置が完了する結果となった。

さらに、自動設置システムが環境の傾きに対してどれくらい適用できるか実験したところ、ピッチ軸に-15～25[deg]、ロール軸に-15～15[deg]までの範囲で適用できる事を確認した。

Fig.8 Comparison of setting times

5. おわりに

本研究では複数ロボット操縦用 GUI の改良と 3 次元 CG モデルの構築による操作性の向上、被災地用マルチホップ無線ネットワーク機器の製作と自動配置システムの構築を行い、それぞれの評価を行った実験結果を示した。今後の課題は、より多くの種類、数のロボットを実際に扱う事で実用的なシステムとして機能する事を実証していくことである。

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO 技術開発機構) による「21 世紀ロボットチャレンジプログラム」の一環である「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」により実施されました。

参考文献

- 1) Tetsushi Kamegawa, Kenta Saikai, Shinjiro Suzuki, Akio Gofuku, Seiji Oomura, Tsuyoshi Horikiri and Fumitoshi Matsuno: "Development of grouped rescue robot platforms for information collection in damaged buildings", Proceedings of SICE Annual Conference 2008, pp.1642-1647, 2008
- 2) Keiichi Shima, Yojiro Uo, Sho Fujita: "Auto configuration and management mechanism for the robotics self extensible WiFi network", Proceedings of SICE Annual Conference 2008, pp.1648-1652, 2008
- 3) Noritaka Sato, Hisashi Mizumoto, Naoji Shiroma, Masahiko Inami, Fumitoshi Matsuno: "Touch-pen interface with local environment map for mobile robot navigation", Proceedings of SICE Annual Conference 2008, pp.1632-1637, 2008