

# 様々な車両モデルを利用した二輪駆動型移動ロボットの 遠隔操作インタフェース

中内 靖    金井 裕也    野口 勝則    松原 隆    柏木 英一

防衛大学校 情報工学科

〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20

E-mail: nakauchi@nda.ac.jp

## 概要

災害救助や極限作業に利用される移動ロボットは人の高度な判断能力を必要とするため、一般に遠隔操作により制御される。移動ロボットは二輪駆動型が一般的であり、その場での左右回転と前後進による遠隔操作が主に用いられている。一方、人は自動車、フォークリフトなど他の運転方法を習得しており、これら人が慣れ親しんでいる運転方法をエミュレートした遠隔操作インタフェースを取り入れることにより、操作性の良いインタフェースを提供できることが期待できる。そこで本研究では、二輪駆動型移動ロボットに対して、様々な運転方法をエミュレートする遠隔操作インタフェースを構築する。また、実験により操作性の優劣について評価する。

## Remote Control Interface System for Two Wheeled Mobile Robots with Various Vehicle Type Emulations

Yasushi Nakauchi, Yuuya Kanai, Katsunori Noguchi

Takashi Matsubara, Eiichi Kashiwagi

Dept. of Computer Science, National Defense Academy

1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka, Kanagawa 239-8686

## Abstract

In general, mobile robots, which are used for inspections and rescuing in nuclear plants and disaster areas, are remotely operated by human. This is because these operations require the sophisticated human skills, which are difficult to replace by current technologies. The robots used for these situations are two wheeled mobile robots and usually provided rather simple operations (i.e. to move forward/backward and to turn right/left). But if we can provide the remote control interface that is accustomed for people (i.e. car, forklift, etc.), it is assumed that we can provide more easily to control and performance effective mobile robot remote operations. In this paper, we propose remote control interface system, which emulate various vehicle types, which are accustomed by people. And by experiments with subjects, we confirm the efficiency of the proposed interface system.

## 1. はじめに

災害救助や極限作業に利用される移動ロボットは人の高度な判断能力を必要とするため、一般に遠隔操作により制御される。実際に、2001年9月11日米国で起こった同時多発テロの災害救助活動においても、Murphyらのグループは様々なタイプの移動ロボットを遠隔操作により利用していた[1]。

移動ロボットの動作機構は二輪駆動型が一般的であり、その遠隔操作のインタフェースでは、その場での左右回転と前後進による操作が主に用いられている。一方、人は自動車、フォークリフトなど他の運転方法を習得しており、これら人が慣れ親しんでいる運転方法をエミュレートした遠隔操作インタフェースを取り入れることにより、操作性の良いインタフェースを提供できることが期待できる。

そこで本研究では、二輪駆動型移動ロボットに対して、従来人が慣れ親しんでいると考えられる、自動車、フォークリフト等、様々な運転方法をエミュレートする遠隔操作インタフェースを構築する。また、実験により操作性の優劣について評価する。

## 2. 移動ロボットの遠隔操作

移動ロボットは大きく、車輪型と歩行型に分類される。車輪型は他の移動機構と比較して、高速安定移動が可能であり、エネルギー効率がよく、機構・制御が容易であることから、Shakey[2]、山彦[3]をはじめとする多くの研究用移動ロボットならびに、RWI製B21、K-Team製Kheperaなど多くの商用移動ロボットにおいて、車輪型が利用されている。

車輪型移動ロボットの多くは二輪駆動型<sup>1</sup>であり、その遠隔操作インタフェースでは、ロ

<sup>1</sup> 2自由度(独立した二輪動作機構)により、平面内における任意の位置と方位にロボットを位置決めすることが可能である。

ボット搭載のCCDカメラからの動画像をユーザに提示するとともに、動作機構との整合性ゆえ、前後進ならびにその場での左右方向への回転による操作入力手法が多く用いられている[4,5]。しかしながら、例えば角を曲がる際、所望の回転角をきちんと出すことは困難であり、その後直進するにしたい方向にずれが生じていたことに気が付いたり、例え初期の方向が正しくとも、ロボットが移動するにつれ、移動誤差により方向にずれが生じてきていることに気が付いたりすることが頻繁に生じる。このような場合、ユーザは前進しては一旦停止して、その場回転により方向を修正することを繰り返す必要がある。これらの現象は、CCDカメラからの映像では、ずれが生じていることに気が付きにくいという体勢感覚の欠如、また、ずれに気が付いた際に即座に微調整を行うことが困難であるという操作入力方法の非柔軟性に原因があると考えられる。

一方、これらの欠点を補う手法として、ロボット搭載のCCDカメラの画像上において、ユーザが移動させたい場所を直接指示する手法が提案されている[3]。しかしながら提案手法では、ロボットが移動すべき位置を三次元的に求める必要があることから、指示可能な場所は画像の床面上に限られており、障害物等が多く存在する環境では利用が困難である。

そこで本研究では、最も一般的である、キーボード入力による操作方法を採用し、汎用で幅広く利用可能となるようインタフェースシステムを構築する。

## 3. 様々な車両モデルによる遠隔操作

本研究では、以下に示す5つの車両モデルによる遠隔操作インタフェースを構築する。遠隔操作の指示入力方法には、キーボード、ジョイスティック、専用操作レバー、マスタロボットが考えられる。本研究では、このうち最も一般

的であるキーボード入力による指示方法を採用<sup>2</sup>することとし、以下、図1～5中の操作パネルはテンキー(1～9)への操作命令キーの割当を示している。

### (1) 二輪駆動型

二輪駆動型の機構である動輪を直接的に操作する、最も基本的な運転方法をエミュレートする(図1参照)。二輪駆動型では左輪速度  $v_1$  と右輪速度  $v_2$  のそれぞれを独立に制御する。 $v_1$  ならびに  $v_2$  を同符号同速度にすることにより直進・後進させ、速度に差分を持たせることにより斜めに回転させ、異符号にすることによりその場回転させることが可能である。自由度はあるが、両輪の設定測度と結果として生じるロボットの動作の相関についてのメンタルモデルを形成することが困難なため、操作しづらいと考えられる。

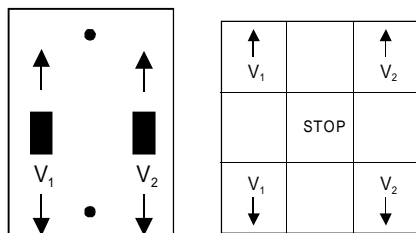


図1 二輪駆動型モデル

### (2) 自律移動ロボット型

一般的な二輪駆動型移動ロボットの操作方法である、その場での左右回転と前後進による運転方法をエミュレートする(図2参照)。それぞれのキーは続けて押されることにより、その場での左右回転と前後進の速度がそれぞれ加速する。

### (3) 自動車型

一般的な四輪自動車である前輪操舵・後輪駆

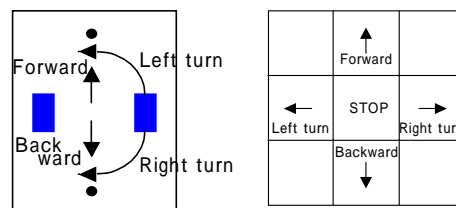


図2 自律移動型ロボット

動による運転方法をエミュレートする(図3参照)。前輪操舵角  $\theta_c$  と後輪駆動速度  $v_c$  により運転され、実際に移動ロボットへの速度命令値  $v_1$  ならびに  $v_2$  は以下の式により計算される。ここで  $L_c$  は前後輪の間の仮想車軸間距離、 $L_m$  は車輪の間の距離である。

$$v_1 = v_c \{ 2L_c + L_m \cos(\theta_c) \} / 2L_c$$

$$v_2 = v_c \{ 2L_c - L_m \cos(\theta_c) \} / 2L_c$$

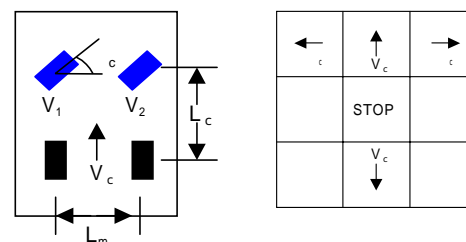


図3 自動車型モデル

### (4) フォークリフト型

フォークリフト車と同様の後輪操舵・後輪駆動による運転方法をエミュレートする(図4参照)。後輪操舵角  $\theta_f$  と後輪駆動速度  $v_f$  により運転され、実際に移動ロボットへの速度命令値  $v_1$  ならびに  $v_2$  は以下の式により計算される。ここで  $L_f$  は前後輪の間の仮想車軸間距離、 $L_m$  は車輪の間の距離である。

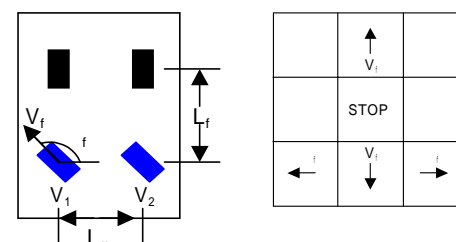


図4 フォークリフト型モデル

<sup>2</sup> 他の操作入力方法は、キーボードへの入力操作をエミュレートすることにより実現可能であると考えられる。

$$v_1 = v_f \{ 2L_f \sin(\theta_f) - L_m \cos(\theta_f) \} / 2L_f$$

$$v_2 = v_f \{ 2L_f \sin(\theta_f) + L_m \cos(\theta_f) \} / 2L_f$$

### (5) ハイブリッド型

自動車型,フォークリフト型ならびに自律移動ロボット型のその場回転に関する運転モードを選択的に実施可能とした運転方法をエミュレートする(図5参照).任意のモードで運転中に,  $v_c$ を入力することにより自動車型モードにて,  $\theta_f$ を入力することによりフォークリフト型モードにて操作することが可能となる.また, Left / Right turnを入力することにより自律移動ロボット型モードのその場左右回転をさせることができる.なお,自動車型とフォークリフト型の運転モードの切替えでは,  $v_c$ ならびに  $v_f$ の速度は維持され,また,  $v_c$ ならびに  $\theta_f$ の初期値は,回転半径も維持されるように,そのときの  $v_1$ ならびに  $v_2$ より計算された値とする.速度ならびに操舵角を維持した切替えにより,運転モード切替時においてもロボットの移動軌跡が維持されるため,スムーズな切替えとなる.

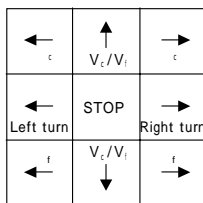


図5 ハイブリッド型モデル

## 4. 実装

本研究では小型ロボット Khepera を利用して実装を行った(図6参照).Kheperaは本体の直径 55mm,高さ 30mmの移動ロボットであり,可動範囲 200°の Arm 先端には最大 40mm 開くことのできる Gripper が取り付けられており,対象物を把持することが可能である.また,遠隔における動画を取得するために小型白黒 CCD Camera を Khepera の上部に取り付けた.

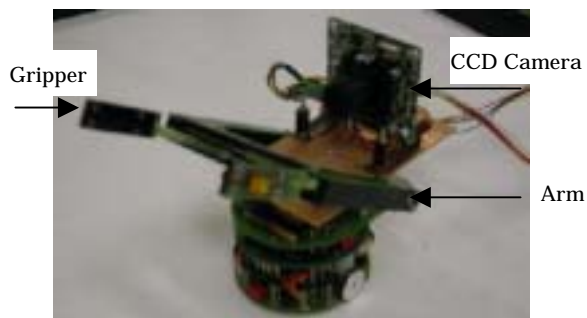


図6 Khepera の外観

遠隔操作のインターフェースならびに Khepera の動作プログラムは Pentium (450MHz)の Linux マシン上で Java により開発した.Khepera への操作命令は RS-232c により送受信が,また,CCD カメラの映像は画像入力ボードにより入力させるようにした.ハイブリッド型の場合の操作インターフェースを図7に示す.

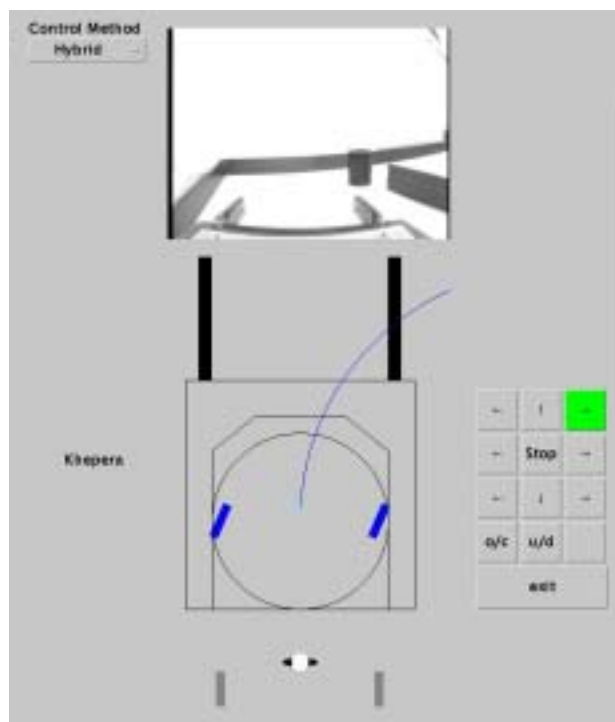


図7 Java による Khepera の遠隔操作インターフェース

図7左上の「Control Method」メニューにより,5種類の操作モードを選択することが可能となっている.中上にはロボット搭載の CCD カメラからの映像が,その下には Khepera の線

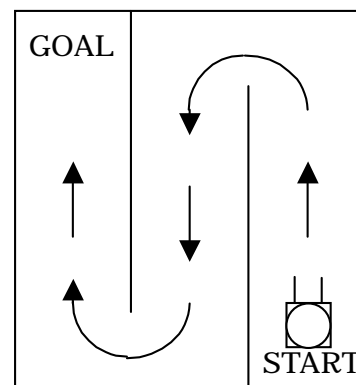
画が、また右下には入力用のキーボードが表示される。Khepera の線画は、その時エミュレーションされている車両モデルのタイヤが表示されるようになっており、図の例ではフォークリフトの4つのタイヤが操舵角とともに表示されている。また、その時の操舵角にてロボットが進行する軌跡がロボット中心より描画されるようになっている。車両モデルのエミュレーションの切替えは、「Control Method」による明示的な選択時、ならびにハイブリッド型における操舵角  $\delta_c$  と  $\delta_f$  の入力切替えによる車両モデルの切替え時に発生する。なお、キーボードについては第3章に説明したテンキーに加え、グリッパ開閉(キー z に割当)ならびにアーム上下(キー x に割当)を指示できるようにした。ユーザからの指示は Java の画面上にマウスポインティングにより入力することも可能であるが、キーボードからの直接入力も受け付けるようにした。

## 5. 実験

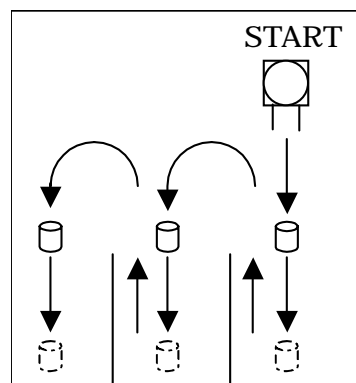
5種類の遠隔操作インターフェースの特性を評価するために、サイズ 60cm x 60cm x 2.5cm の箱庭を作成し、図8に示す3種類のコースを設定し実験を行った。コースAは比較的長いストロークから形成されており、コーナリングを含む長距離の移動能力を評価する。コースBはフィルムケースを3個並べており、それぞれの前にある窪地に奥まで押し込む。効率よく小回りでき、物体のハンドリングができることを評価する。コースCはAとBを組み合わせたものであり、総合的な操作性能を評価する。

被験者5人により、3つのコースそれぞれに対して5種類の操作モードによりタスクを実施させた。タスク遂行時間の平均ならびに分散を図9に示す。

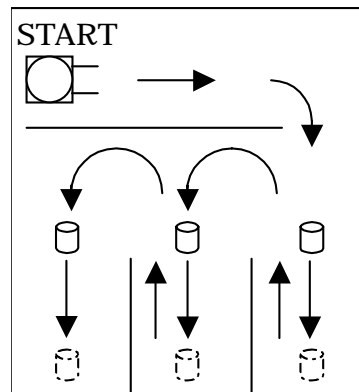
実験結果より、コースAでは急カーブをスムーズに走行できる自動車型が適していること



コース A



コース B



コース C

図8 実験コース

がわかった。コースBでは小回りのきくフォークリフト型が適していることがわかった。また、コースCではその両方の性能を持ったハイブリッド型が適していることがわかった。自律移動ロボット型は直線では適しているが、コーナリングでは微妙な角度調整のために、その都度

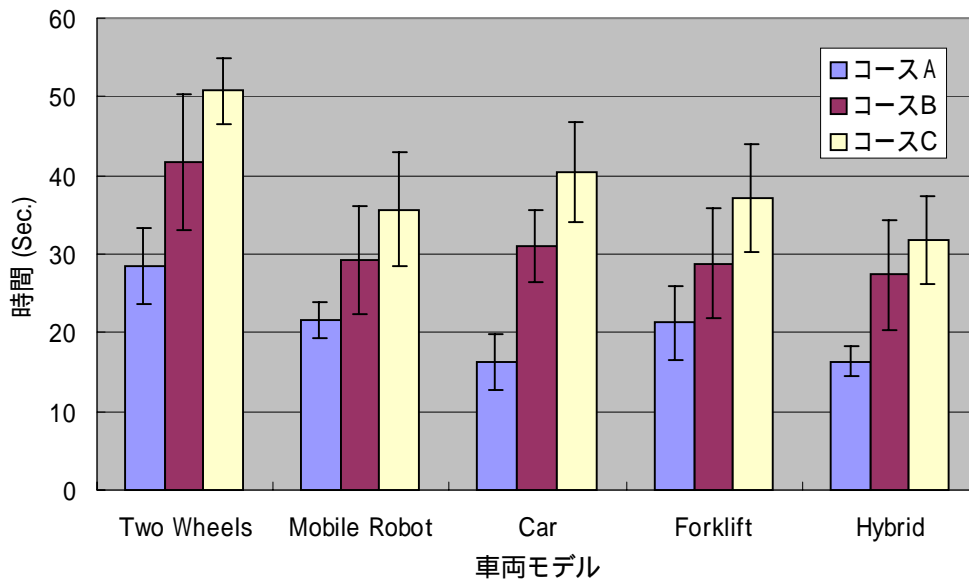


図9 実験結果

停止してその場回転する必要があるため、自動車型とフォークリフト型を併用できるハイブリッド型が適していた。二輪駆動型はどのコースにおいても操作が困難であった。

## 6. おわりに

本研究では二輪駆動型移動ロボットに対して、様々な運転方法をエミュレートする遠隔操作インタフェースを構築した。特に、実際には機構的に実現が困難である、自動車型、フォークリフト型、自律移動ロボット型を組み合わせたハイブリッド型による運転方法を提案し、実験により、その有効性を確認した。

本研究ではキーボード入力による操作を実施したが、キーボードへの入力をジョイスティックや専用操作レバーからの入力に置き換えることが可能である。今後、他の物理的な入力方法による操作性の相違についても検討する予定である。また、今回使用したロボットにおいても、赤外線センサを持っており、ロボット周囲の障害物の情報がある程度取得することが可能である。今後、ロボットが持つセンサ情報を遠隔操作の補助とするよう、さらに改良を試みる計画である。

## 【参考文献】

- [1] <http://www.csee.usf.edu/robotics/crasar/>
- [2] Charles A. Rosen, "An Experimental Mobile Automation", SRI AI Group Technical Note 39, 1970.
- [3] 関本武志, 坪内孝司, 油田信一: "視覚映像とポインティングデバイスを用いた移動ロボットの操縦システム", 第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.337-338, 1996.
- [4] 浅沼和範, 白幡哲, 梅田和昇: "インターネットを介した移動ロボットの遠隔操作におけるユーザーインターフェース", 日本機械学会関東支部第7期総会講演会講演論文集, pp.299-300, 2001.
- [5] Lixiang Yu, Pui Wo Tsui, Quan Zhou, Huosheng Hu, "A Web-Based Telerobotic System for Research and Education at Essex", Proc. of IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.37-42, 2001.