

# 仮想化現実を利用した移動ロボットの適応的遠隔操作

大垣 史迅<sup>†</sup> 鈴木 健嗣<sup>†</sup>

<sup>†</sup>筑波大学システム情報工学研究科

## 1 はじめに

近年、通信ネットワークとロボット技術の発展を背景として、ロボットの遠隔操作に関する要求が高まっている。建設重機や代行運転、移動体通信を用いたロボット操作、宇宙ローバの遠隔操作などを代表とした、様々な分野において研究が行われている。しかしながら車両の遠隔運転など、遠隔地にて撮影された動画像に基づいて遠隔操作を行う場面では、画像と制御指令における伝送遅延を無視することはできない。

画像による伝送遅延の対策としてカメラによる取得画像と仮想画像を組み合わせる手法 [1] が提案されており、この手法は操作者が操作対象を俯瞰視点から操作することを可能としているため、操作を容易にする。しかしながら、不規則な伝送遅延や通信の切断に対応しているわけではない。

そこで本研究では、人の操作と機械による自律動作を状況に応じて適切に協調させることにより、非常に大きな画像伝送遅延環境 (1fps 程度) においても操作者が十分な遠隔操作を可能とすることを旨とする。本稿では、提案した適応的遠隔操作手法 [2] において課題であった画像生成における歪みを解消するための、測域センサ (URG-04LX) による計測を利用し、仮想的な操作者位置の画像生成手法と、本手法による評価実験について報告を行う。

## 2 提案手法

遠隔操作において遠隔地で提案された動画像を操作者に提示する際、伝送遅延を完全に取り去ることは困難である。よって操作者視点の画像と移動ロボットを完全に一致させることはできない。そこで筆者らは、イメージベースドレンダリングを用いて操作者には操作に応じて時間遅れなく仮想画像を提示し、移動ロボットはある程度自律的に動作させることとした。このとき操作者へ提示する操作者視点による時系列画像は、移動ロボットが予め取得した過去の画像を元に作成したものであり、操作者が想定する現在位置の画像である。つまり操作者が操作するのは、仮想的な移動ロボットであり、これは操作者の意図通り時間遅れ無く動作する。一方実際の移動ロボットは、ある程度操作者の意図に従い動作するが、壁への衝突回避など状況に応じて人の操作とは異なり自身の行動計画に基づき自律的に動作する。

図 1 にシステムの概要を示す。本システムは、移動ロボットシステムと、操作者側のコンピュータにより

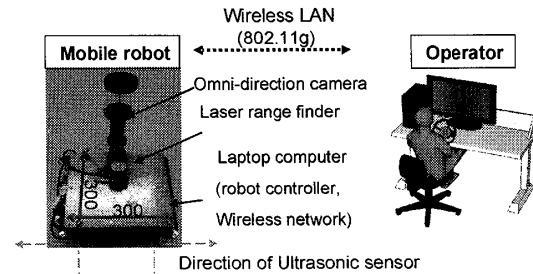


図 1: システム概要

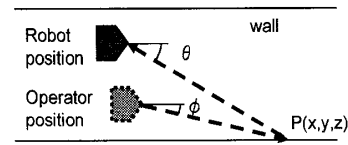


図 2: 光軸における操作者と移動ロボット位置関係

構成され、操作者はロボットの操作のために、ハンドル型コントローラを使用する。移動ロボットは搭載したカメラにより画像取得を行い、自身のセンサ情報とともに操作者側の PC へ送信する。一方、操作者側の PC は、あらかじめ送られてきた画像を元に、現在の操作者が想定している位置の予測画像を作成し提示する。これにより操作者は、提示される予測画像を元に操作を行うことができる。予測画像生成方法は、あらかじめ取得していた全方位画像の時系列データより、最も適切な画像を幾何学変換することにより、操作者の視点方向の画像を生成する。さらにそれを、拡大、平行移動などの処理を行うことによって提示する時系列画像を生成する。これにより、過去取得した位置の全方位画像を元に、任意の方向へ前進または平行移動した位置の画像を仮想的に生成した [2]。しかしながら、周囲環境における距離情報を用いた幾何学変換ではないため、しばしば画像の歪みが発生してしまう。そこで測域センサを用いて計測した距離情報を利用することで画像の歪み解消を行う。

## 3 測域センサを利用した予測画像生成

図 2 に操作者想定位置とロボット位置視点における光軸を表す。このように壁など障害物とそれぞれの光軸との交点  $p(x, y, z)$  を求めることで、移動ロボット位置において取得した全方位画像を用い操作者が想定する位置からの視点により正確な画像を生成することが可能となる。本システムでは、搭載した測域センサにより距離情報を取得し、画像生成を行う。図 3 左上が示す通り 2 次元平面上で取得した距離情報は地面から天

Adaptive teleoperation with a virtualized reality technology

Fumitoshi OGAKI<sup>†</sup> and Kenji SUZUKI<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba.

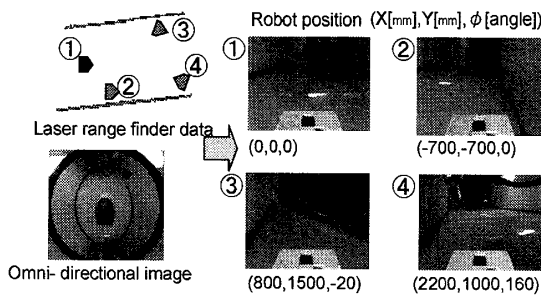


図 3: 操作者想定位置における仮想画像の生成

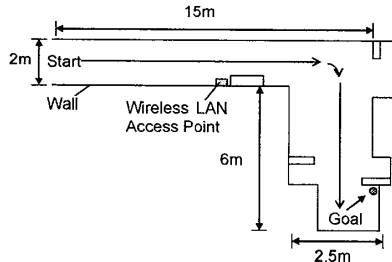


図 4: 実験に利用した屋内環境

井まで均一と仮定する。また、センサ領域外は測域センサによって得られた点データをハフ変換することにより直線を仮定し、仮想的に生成する。これらの情報と地面からのカメラ位置と予め決めた一般的な屋内の天井の高さを用いることで光軸の交点  $p(x, y, z)$  を求める。全方位画像における画像点  $I(X, Y)$  は以下の式で表すことができる [3]。

$$X = f \frac{x(b^2 - c^2)}{(b^2 + c^2) - 2bc\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \quad (1)$$

$$Y = f \frac{y(b^2 - c^2)}{(b^2 + c^2) - 2bc\sqrt{x^2 + Y^2 + z^2}} \quad (2)$$

$$c = \sqrt{a^2 - b^2} \quad (3)$$

$f$  はカメラ焦点に依存する数値であり、 $a$  と  $b$  は全方位カメラに使用されている双曲面ミラーに依存する値である [3]。

図 3 は①の位置で取得した 1 枚の全方位カメラ画像と、測域センサの計測値により異なる場所における視点(②~④)の画像を生成した例を示す。

しかしながら、自己位置を投影する場合に移動ロボット自身または全方位カメラ画像における中心の黒点が投影される場面を避けるため、本システムでは、移動ロボット位置のみ、周りの廊下画像を折返して、投影している。画像④がこの手法によって生成された画像である。

## 4 実験

### 4.1 実験方法

提案手法の有効性を検証するため以下の実験を行った。実験環境を図 4 に示す。伝送遅延により伝達される画像が 1fps 程度での遠隔操作を想定し実験を行う。一方操作信号も遅延は発生するが、画像信号と比較して、情報量も小さいため 200~300ms 程度と想定して

表 1: 操作実験結果

	(A)Manual Control	Adaptive Teleoperation	
		(B)	(C)
Average	5:36	1:45	1:31

いる。(A) 伝送遅延を考慮していない遠隔操作,(B) 従来システムである画像を拡大・縮小・並行移動等により画像生成を行うシステム,(C) 本稿で示した仮想化現実を用いて画像生成を行うシステムの 3 つについて比較を行う。ここで伝送遅延を考慮していない遠隔操作とは、移動ロボットが受信した画像に処理を加えず操作者へと提示し、移動ロボットは操作者の操作に応じて動作する操作のことである。被験者は 4 人であり、移動ロボットを遠隔操作し目標地点を画面上に納めた時点で終了とする。本実験において移動ロボットの最高速度は 1.5m/s である。

### 4.2 実験結果

表 1 に実験結果を示す。適応的遠隔操作は伝送遅延を考慮していない遠隔操作と比べ大幅に操作時間が短くなっていることが分かる。これは伝送遅延が大きい状況においては操作は非常に困難であることを示している。一方適応的遠隔操作において今回提案した手法により約 15% 程度の改善が見られた。

## 5 おわりに

今回製作した画像生成システムでは以前までのシステムで生成できなかった位置の画像も生成可能となった。そのため、仮想移動可能な範囲が大幅に増加している。本手法は、実験により伝送遅延が大きい状況において十分な性能を発揮することが可能であることを示すことが出来た。また、モデルベースによるナビゲーションとは異なり、予め地図モデルで与える必要はなくイメージベースドレンダリングによる仮想化現実を用いることで、操作者にとってより親和性の高い操作画像を提供できることが特徴である。

しかしながら、状況によっては不自然な画像を生成してしまうため、被験者にはその点が不評であった。このことから、例えば幾何学的に適切な画像が生成されたとしても、歪んだ画像が混ざってしまうと、操作者かなりの不快感を与えることが分かった。歪みが発生する場面として測域センサ、画像、オドメトリとの相互誤差や壁の誤認識が挙げられる。

今後さらに、画像生成方法を改善するとともに、レンジファインダデータ、画像、オドメトリに発生する誤差の抑制等を考えていくことでより良いシステムとなることが求められる。

## 参考文献

- [1] M. Sugimoto, G. Kagotani, H. Nii, N. Shiroma, M. Inami, and F. Matsuno, "Time Follower's Vision: a teleoperation interface with past images" The January/February 2005 issue of *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2005.
- [2] Ogaki, F. and Suzuki, K., "Adaptive Teleoperation of a Mobile Robot under Communication Time Delay", Proc. of IEEE Intl Workshop on Robotic and Sensors Environments, pp. 86-91, 2007.
- [3] 長原一, 浜田博昭, 八木康史, 谷内田正彦, "全方位視覚センサを用いた高解像度 3D モデリング", 情報処理学会論文誌, Vol.42, No. SIG13 (CVIM 3), pp.90-98 (2001).