

伝送遅延を考慮した移動ロボットの協調遠隔操作

大垣 史迅[†] 鈴木 健嗣[†]

[†]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、宇宙ローバの遠隔操作など、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合、その伝送遅延を無視することはできない。また遠隔地にある対象を操作するため、操作者は操作対象を熟知し、ある程度訓練を行う必要がある。

そこで本研究では、人の操作と機械の動作を適切に協調させることにより、時間遅れの問題を回避するとともに、できるだけ訓練を必要としないシステムの構築を目指す。ここでは、無線 LAN を使用した屋内環境において小型移動ロボットの遠隔操作を行うこととし、実験環境では状況に応じて数ミリから数秒の伝送遅延や通信の切断が発生し、移動ロボットは人のおおよその歩行速度 (1m/s) 以上での走行を想定している。

本稿では、これまで開発したシステム [1] の自律機能の改善としてポテンシャル法における停留点の回避と、操作性向上のための画像提示の改良について報告する。

2 人と機械との協調

ヒューマンマシンシステムにおいて、目標達成のために必要な機能と権限を人と機械がどのように分担するかは大きな問題である。一般にこれらは設計者によって予め定められているが、人もしくは機械のいずれかに判断を委ねることが適切な場面が存在し、かつ理想的には状況に応じてこの割合を動的に変化させることが望ましい。その場合、人と機械との意思の齟齬を防ぐため、機械がどのような判断において動作しているか操作者が正確に知る必要がある [2]。

一方で遠隔操作においては、先に述べた伝送遅延のため、遠隔地にあるロボット周囲の環境のセンシング時刻と、人間が判断する時刻が不規則に異なり、操作者は機械の現状を正確に知ることは困難となる。

そこで筆者らは、移動ロボットにある程度の自律機能を持たせ操作者と協調させて遠隔操作する手法を提案している [1]。提案手法では、操作者の操作に応じ、操作者視点による時系列画像を作成し提示するものとし、直接的に移動ロボットの現在状態を知らせることはしない。これは移動ロボットに搭載しているセンサからの情報により十分障害物回避を行うことが可能で

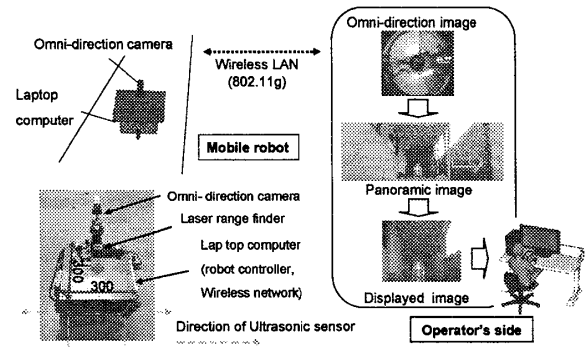


図 1: 開発システムの概要

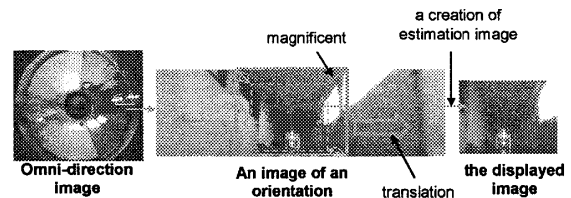


図 2: 提示画像の生成

あると判断したためである。

このように、あえて操作者に機械の状態を知らせず、ロボットが自律的に動作し、かつ操作の権限を動的に人へ移譲することにより、操作性低下の問題の発生を回避することを目指す。

3 提案手法

遠隔操作において遠隔地のカメラ画像を操作者に提示する場合、伝送遅延を完全に取り去ることは困難である。よって操作者が見ている状況と移動ロボットの現在状況を完全に一致させることはできない。このため実際の移動ロボットの状態と操作者の認識がずれることにより操作性が著しく低下したり、時には操作不能な場面が生じる。そこで筆者らは、操作者には操作に応じて画像を提示し、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る動きをする。

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構成される。移動ロボットの概要は図 1 左下の通りで

An autonomous mobile robot and adaptive teleoperation under communication time delay

Fumitoshi Ogaki[†], Kenji Suzuki[†]

[†]Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba.

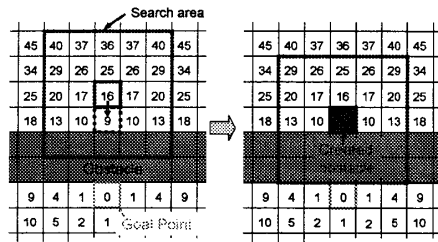


図 3: 停留点の探索

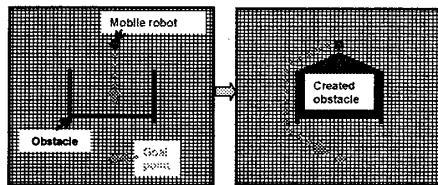


図 4: 停留点の除去

ある。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。

本システムの動作は以下の通りである。まず移動ロボットは、操作者の想定位置よりある程度先行して画像取得を行い、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、図2に示す通り、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ている [1]。

4 ポテンシャル法における停留点の除去

自律移動ロボットの制御方法は、ポテンシャル法を使用する。ポテンシャル法とは、目標地点に引力が働き、障害物には斥力が働くと仮定し、その力の重ね合わせにより障害物を回避し目標地点へと到達するための手法である [3]。しかしながら、本システムではロボットは操作者の想定位置からある一定量先行するように随時目標地点を定めながら制御されるため、目標地点が移動ロボットの現在位置から比較的近距离となり、停留点が発生する。停留点とは、目標地点以外で引力と斥力を合成した力が0となる極小点である。本ロボットは、予め環境の地図情報を保有していない為、これまで走行実験において、通路の交差点や、障害物の近傍にて移動ロボットより操作者が先行してしまうと、停留点で動けなくなる場合が存在した。このため操作者はできるだけ移動ロボットより先行しないよう、操作者の動きを制限する必要があった。

そこで、今回は取得した周囲環境の計測データを利用することで、可能な限り停留点を除去することとした。まずレーザレンジファインダを用いてロボットの前方の距離測定を行い、周囲環境の情報を得る。次に得られた環境の情報と逐次定められた目標地点より停

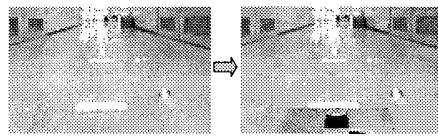


図 5: 仮想移動ロボット画像の提示

留点の除去を行う。停留点除去の概要を図3、図3に示す。まず停留点探索をロボット位置より開始し、目標地点に向かい移動を行う。このとき図3左図が示す通り、探索領域の中で最も目標点方向に近い位置へと移動する。しかしながら図3右図の通り障害物によってこれ以上進行できなくなった場合、その地点を停留点とし新たな障害と仮定する。ロボット位置からの探索を、目標地点に到達するか、作成した障害が移動ロボットへ到達するまで繰り返すことで停留点の除去を行うこととする。図4はこの処理を行った実行結果を表す。

5 画像提示による自己状態の把握

これまで操作者へ提示する画像は図5左図の通り生成した画像のみであった。しかしながら、この画像ではスケーリングの情報が得られない為、移動ロボットの操作が困難な場合が見られた。これは、できるだけ訓練を必要としないシステムとするには大きな問題である。

そこで、図5の右図の通り提示する画像へ移動ロボットの前方形部分を仮想的に重畳して提示することとした。これにより操作者がロボットを視認することができるため、操作性の向上が期待できる。

6 おわりに

本稿では、自律性向上のための停留点の除去と操作性向上のために移動ロボットを提示した画像の生成について述べた。本システムは、移動ロボットの自律部分の動作に依存したシステムであるため、ロボットの自律性の向上により、操作者がより効率的に操作できる。また操作者に移動ロボットの一部を提示することで、自身と周囲の環境との相対的なサイズに関する知見が得られるため、操作者の操作を助けることとなった。実際に図5の通りロボットの前方形部分を表示し走行した結果、その他の部分を変更していないにもかかわらず操作性が向上した感覚があった。これは操作者に、よりロボットと周囲環境の関係を把握することが容易になったためだと考えられる。

今後は、どの程度伝送遅延に対応できるかという定量的な検証と、また全く訓練を行わず遠隔操作が可能であるかについて被験者実験を行いたい。更に、提案手法を用いて屋外環境における実験を行いたい。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 稲垣敏之, "人間機械共生系: システム設計の視点と課題," 自動車技術会シンポジウム「ヒューマトロニクス」資料, pp. 19-24, 2005
- [3] 奥富正敏, 森正弘, "ポテンシャル場を用いたロボットの動作決定," 日本ロボット学会誌, Vol.1, No.3, pp.66-72, 1983