

車輪型移動ロボットのための直感的操作を可能とする

遠隔操縦インターフェースの開発

Development of User Interface for Intuitive Teleoperation of Wheeled Mobile Robots

赤坂 拓也† 中村 恭之†

Takuya Akasaka Takayuki Nakamura

1. はじめに

瓦礫の散乱した環境、高所、水中、高温または低温の環境、有害物質が充満した環境など、人間が作業を行うのが困難な環境において、人間の代わりに作業を行う様々なロボットが近年開発されている。そのようなロボットは、完全自立型で運用されることが理想的であるが、物体認識や状況認識などの点で課題が残っており、未だに実用化されておらず、人間によるロボットの遠隔操作は依然として行われている。

人間によるロボットの遠隔操作インターフェースとして一般的にジョイスティックやゲームパッドなどのコントローラが広く用いられているが、これらのコントローラを用いてユーザが思い通りにロボットを操縦できるようになるためには、コントローラの自由度と、ロボットを操作するための自由度との対応関係を適切に設定する必要があり、そのような設定が成された後でも、思い通りに操作できるようになるためには、ある程度の訓練を要する。

そこで、本研究では、車輪型移動ロボットを遠隔操作する際に、直観的にロボットを操作できる操作インターフェースを提案する。提案するシステムでは、車輪型移動ロボットの進行方向や移動速度を操作するためや、ロボットに搭載されたカメラからの映像を提示するためのインターフェースとして、タブレット PC を利用する。タブレット PC に搭載されている加速度センサ・ジャイロセンサ・カメラを用いて、人間の動作を計測して、ロボットの操作量を決定する。また、ロボットに搭載されたカメラからの映像を、タブレット PC の姿勢に依らず常に水平を保つように回転させてタブレット PC 上に提示する。さらに、操作者が、提示された映像に基づいてロボットを容易に操作できるように、その映像上に付加的情報を合成表示する。構築した遠隔操作システムのユーザビリティを評価するために、18名の被験者に実際に操作してもらい、アンケート調査を行った。システムの操作の容易さや提供される情報の分かりやすさなどに関する、10個の項目について被験者による7段階評価してもらうことで、構築した遠隔操作システムのユーザビリティを評価した。

2. 関連研究

五十嵐ら[1]は、作業空間内の画像をリアルタイムで取得して、さらにその画像上にロボットのCGを重畳表示して、ユーザがその重畳されたCGをタッチスクリーン上で操作することによってロボットを操作する方法を提案している。杉本ら[2]は、ロボット視点の画像から3人称視点の画像を生成 (Time follower's vision と呼んでいる) して、その画像にロボットのCGを重畳表示して、ユーザがその重畳表示されたCGを見ながら、ロボットを操作する方法を提

案している。Youngら[3]は、重いスーツケースを運ぶロボットポーターや食料品を運ぶロボットなど、日常生活において人間について歩くロボットのための指示方法として、犬の散歩に使われる紐 (リード) を利用して、ユーザからロボットへの指示を出すインターフェースを提案している。大竹ら[4]も、同様に、紐 (リード) を利用して、ユーザの指示を検出してロボットを誘導走行させるシステムを提案している。小林ら[5]は、ヒューマノイドロボットが観測した情報や経路計画の結果をARの技法によってロボットの周辺に重畳表示する手法を提案した。林ら[6]は、ユーザはPCとWebカメラ、幾つかのマーカーを利用するだけで、現実環境下で実際にロボットを配置しているかのようにシミュレートして、現実環境下での仮想ロボットの動きを見ることが可能な拡張現実感を利用したロボットシミュレータを提案している。

本研究では、文献[1]で使用されているようなタッチインターフェースや、文献[3]と[4]のようなリードを用いたインターフェースなど、操作入力・情報提示専用のインターフェースを用意せず、1つの装置だけで人間の動作を間接的に計測して、直接的に人間の動作とロボットの動作の対応関係を与えることで、直観的にロボットを遠隔操作するインターフェースを構成しているところが、従来の研究との差異であると考えている。

3. 提案する遠隔操作インターフェース

提案するシステムは、車輪型移動ロボットを直観的に操作するためのタブレット PC を利用した遠隔操作インターフェースである。Fig.1に、提案する遠隔操作インターフェースのシステム構成を示す。このシステムでは、ユーザが、タブレット PC を自動車のハンドルのように操作することで、車輪型移動ロボットの移動方向を変化させる。また、ユーザが、タブレット PC をユーザに対して近づけたり・遠ざけたりする操作によって、車輪型移動ロボットの移動速度を変化させる。またタブレット PC では、タブレット PC に搭載されている加速度・ジャイロセンサ、カメラによって、タブレット PC の姿勢の変化角度や、ユーザに対するタブレット PC の距離を計測して、これらの計測値を、ロボットの対応するそれぞれの操作量に変換している。

また、提案するシステムでは、ロボットを遠隔操作するために、ロボットに搭載したカメラからの映像をタブレット PC 上に提示する。これにより、映像提示用の専用の装置を用意することなく、タブレット PC のみで遠隔操作できる。さらに、提案するシステムでは、映像提示の際に、タブレット PC のハンドル操作によってその姿勢が傾いている状態でも、映像を常に水平を維持したまま提示しており、さらに、距離目安線・車幅延長線をその映像上に重畳

表示して、遠隔操作性の向上を図っている。

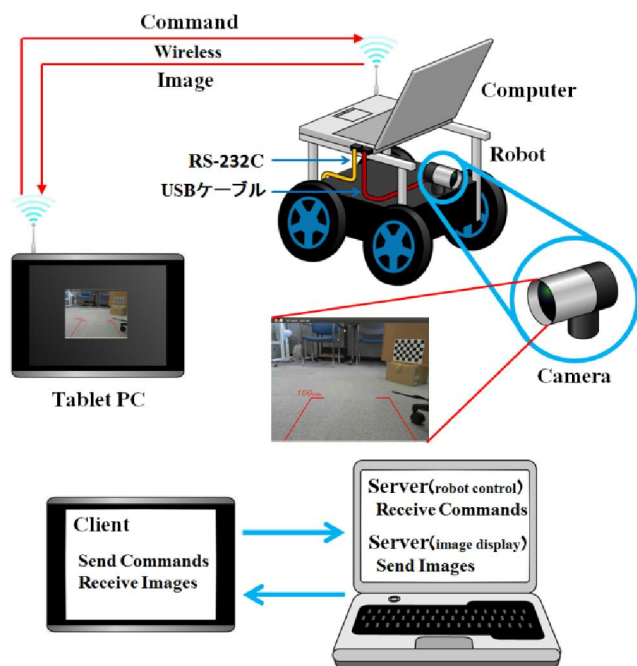


Fig.1 システム構成

3.1 前進・後退操作

本システムでは、ユーザーが、タブレット PC をユーザーに対して近づけたり・遠ざけたりする操作によって、車輪型移動ロボットを前進・後退させる。ユーザーに AR マーカーの描かれた名札を付けてもらい、その AR マーカーをタブレット PC のフロントカメラを用いて観測して、ARToolKit[7]によりユーザーとタブレット PC 間の距離を計測する。

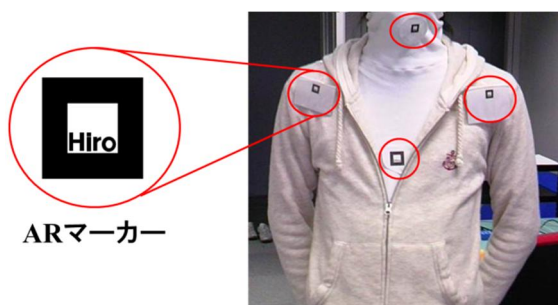


Fig.2 ユーザーに付けられた AR マーカーの名札

まず、その距離の計測値に基づいて、ユーザーとタブレット PC 間の初期位置（ホームポジション）を決める。この初期位置を基準にして、タブレット PC を保持しているユーザーの腕を伸ばす（ホームポジションからタブレット PC がユーザーに対して遠ざかる）、タブレット PC を保持しているユーザーの腕を縮める（ホームポジションからタブレット PC がユーザーに対して近づく）状態を検出する。

そして、初期位置からの距離の大きさに比例して、前進・後退の速度指令値を生成しており、タブレット PC を保持しているユーザーの腕を伸ばすとロボットが前進、腕を縮めるとロボットが後退する。

また、ユーザーがタブレット PC 保持したまま腕を前後に振る動作によって、ロボットを緊急停止するようにしてい

る。腕を前後に振る動作の検出には、タブレット PC 内の加速度センサを用いている。タブレット PC の画面上に設定してある再稼働スイッチを押すと、緊急停止したロボットが再稼働する。

3.2 操舵操作

ユーザーが、タブレット PC を自動車のハンドルのように操作することで、車輪型移動ロボットの移動方向を変化させる。タブレット PC を自動車のハンドルのように操作したときのタブレット PC の姿勢の変化を、タブレット PC 内のジャイロセンサによって検出することで、ハンドルの回転量に相当する値を計測している。この値に基づいて、ロボットの操舵指令値を生成しており、ユーザーがタブレット PC を右回転させるとロボットが右回転し、タブレット PC を左回転させるとロボットが左回転する。

3.3 映像提示方法

ロボットを遠隔操作するためには、ユーザーにロボットに搭載されているカメラからの映像を提示することが、よく行われる。提案するシステムでは、タブレット PC のハンドル操作によってその姿勢が傾いている状態でタブレット PC 上に映像を提示する必要がある。ユーザーへの映像

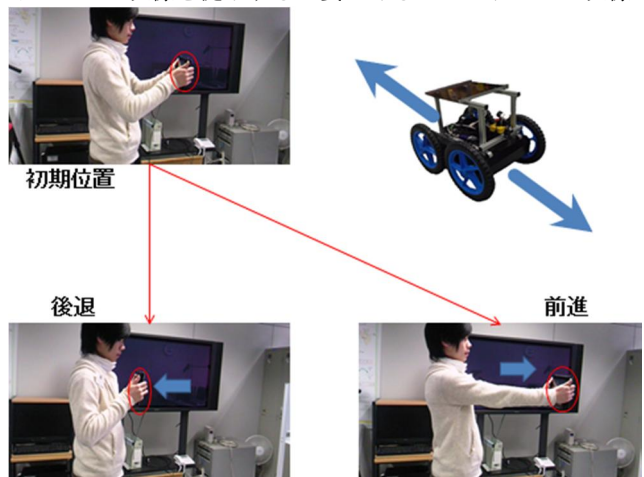


Fig.3 前進・後退操作

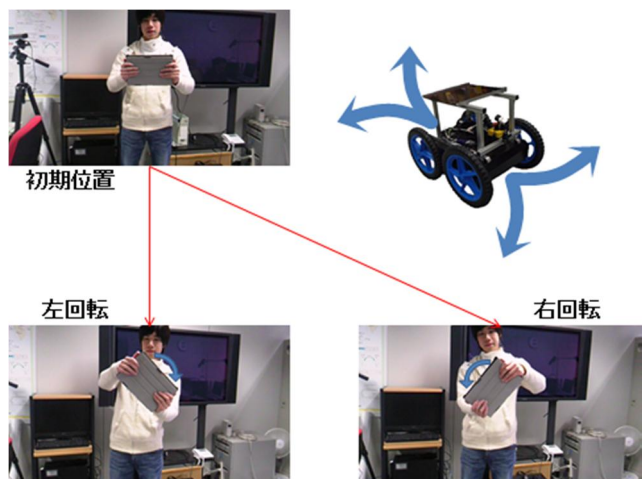


Fig.4 操舵操作

提示を視認性の良いものとするため、タブレット PC の姿勢が傾いている状態でも、その傾きの量に応じて映像を回転表示することで、映像を常に水平を維持したまま提示するような映像処理を行っている。

3.4 遠隔操作のための重畳情報

本システムでは、提示された映像に基づいて遠隔操作する際の操作性を向上させるために、提示する映像内に、距離目安線、車幅延長線を重畳表示している。これらの直線は、ロボットに搭載されたカメラからの映像上で、ロボットが走行している床面に相当する部分に描画されている。距離目安線は床面上に存在する障害物等とロボットの正面方向との間の距離を、車幅延長線は床面上に存在する障害物等とロボットの側面方向との間の距離を、この映像だけから判断しやすくするために描画されている。

なお、これらの直線を画像上に描くために、床面上に格子状のキャリブレーションパターンを多数配置して、Zhangの手法[8]により、ロボットに搭載されたカメラのキャリブレーションを行い、カメラの内部パラメータ、外部パラメータを推定している。

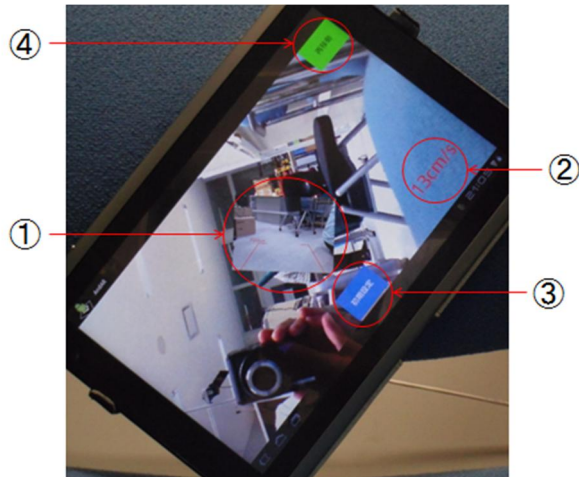


Fig.5 タブレット PC 上に提示される映像。①にはロボットに搭載されたカメラの映像、②には現在の速度値指令値、③には、初期位置設定ボタン、④には、緊急停止解除ボタンが表示されている。

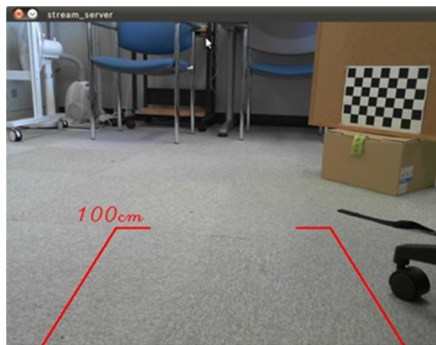


Fig.6 ロボットに搭載されたカメラ映像上に重畳表示された距離目安線と車幅延長線

4. 実験

4.1 使用機器

実験に使用した機器は、車輪型移動ロボット (BlackShip 4Wheels) (Fig.7 参照)、ロボット搭載カメラ (Microfofot LifeCam Studio) タブレット PC (Acer ICONIA TAB A500-10S16) である。

4.2 実験条件

被験者にロボットの操作を説明して、その後、最大で 5 分の練習時間を与える (ただし、被験者が練習に満足したらその時点で打ち切る)。また、実験コースを走行中にロボットが走行できない状態になった場合、そこでタスクを終了する。実験コースは、カーブや直線、横幅が細い道を含むコースを設定した (Fig.8 参照)。提案手法の有効性を検証するために、提案手法以外のロボット操作方法として、ゲームパッドを使用してロボットを操作する方法についても、その操作性を検証した。ゲームパッドで操作する場合には、タブレット PC をテーブル上に固定して、タブレット PC の画面に、ロボットに搭載されたカメラからの映像を提示した。なお、その映像にも、提案手法と同様に、距離目安線や車幅延長線を描画してある。



Fig.7 実験に使用した車輪型移動ロボット (BlackShip 4Wheels)

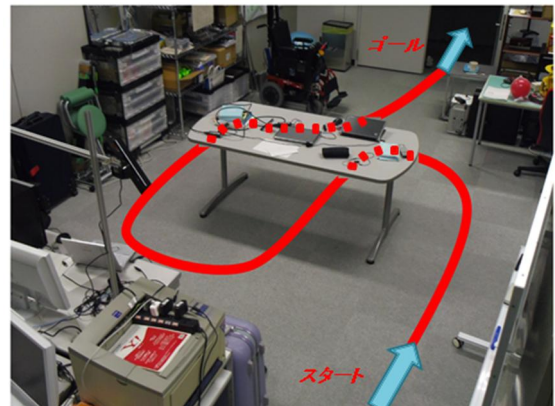


Fig.8 ユーザビリティ評価のための実験コース

4.2 実験結果

被験者 18 名中、全員がタスクを達成することができた。また、従来手法 (ゲームパッドを使用したロボットの操作) を用いてロボットの操作を行ってもらい、提案するシステムとの操作性を比較してもらいアンケートを取った。アンケートの項目を表 1 に、その集計結果を Fig.9 に示す。アンケートについては 7 段階のリッカートスケールで点数評価を行った (点数が高いほど肯定的)。

Table.1 アンケート項目

番号	質問内容
Q1	直感的（感覚的）に操作しやすいと感じた
Q2	操舵操作がしやすいと感じた
Q3	前進・後退操作がしやすいと感じた
Q4	この方法でロボットを操作したいと感じた
Q5	たくさん練習が必要だと感じた
Q6	多くの人が簡単に操作を行うことができると感じた
Q7	ロボットを想像通りに動かすことができた
Q8	ロボットの操作方法としてふさわしいと感じた
Q9	カメラの視野角はこれで十分だと感じた
Q10	ロボット距離目安・車幅延長線表示のおかげで操縦しやすいと感じた

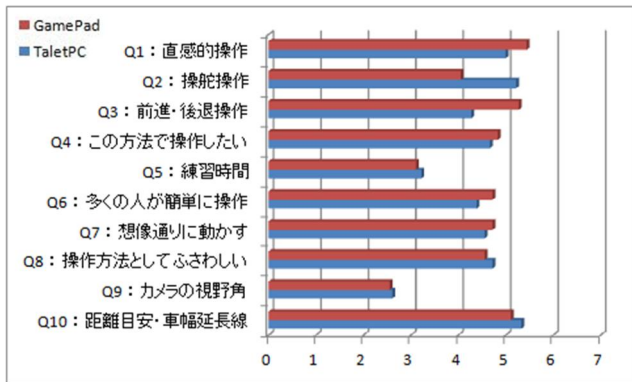


Fig.9 アンケートの集計結果

4.3 考察

Q5（たくさん練習が必要）について、提案手法は 15 名が練習時間を 4 分未満で終え、従来手法は 18 名全ての被験者が 2 分未満で終えている。しかし、評価はどちらもほぼ変わらない結果が出ている。これは、従来手法の操作方法が、操作するだけならすぐにできるが、細かな感度調節や、小回りが必要なコースではもっと練習が必要という意見が得られた。この結果と Q1（直感的に操作しやすい）の結果を合わせて、提案するシステムが従来手法と比較しても、あまり変わりなく直感的に操作しやすいことを裏付けているのではないかと考えられる。Q2（操舵操作）については、提案手法は、小回りが非常に効きやすく、従来手法と比べて操作しやすいという意見が得られた。Q3（前進・後退操作）については、AR マーカーの認識率が悪く、その結果、従来手法と比べると前進・後退の操作がしにくいという意見が得られた。Q9（カメラの視野角）については、カメラの視野角が非常に狭く、左右の状況が確認しづらいという意見が得られた。また、後退動作時はロボット後方を確認できるようにして欲しいという意見が得られた。Q10（距離目安線等の表示）については、搭載されたカメラからロボット自体が見えないので、ロボットの横幅、前方に物体までの距離を予想できるのは、操縦の助けになるという意見が得られた。

5. まとめと今後の課題

本論文では、操作入力・情報提示専用の特別なインターフェースを用意せずに、タブレット PC という 1 つの装置だけで人間の動作を間接的に計測して、直接的に人間の動作

とロボットの動作の対応関係を与えることで、直感的にロボットを遠隔操作するシステムを提案した。構築した遠隔操作システムのユーザビリティを評価するために、18 名の被験者に実際に操作してもらいアンケート調査を行った結果、提案するシステムが従来手法と比較してもほぼ同じくらい直感的に操作しやすいということが裏付けられた。

今後は、より操作性を向上させるために、従来手法との差が顕著に出た速度制御に関して、マーカーの認識率の向上を図り、速度制御をしやすいとする。また、ロボットの全周囲を見渡せるようなカメラ（全方位カメラや画角の広いカメラを複数台）をロボットに搭載することを検討し、その際の映像提示方法についても工夫することを検討している。

謝辞

本研究の一部は、科研費（基盤研究(C) No. 23500243）の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Sunao Hashimoto, Akihiko Ishida, Masahiko Inami, Takeo Igarashi, "TouchMe: An Augmented Reality Based Remote Robot Manipulation", The 21st International Conference on Artificial Reality and Telexistence, Proceedings of ICAT2011, Osaka, Nov. 28-30, 2011.
- [2] Sugimoto, M., Kagotani, G., Nii, H., Shiroma, N., Inami, M., Matsuno, F.: Time Follower's Vision: A Teleoperation Interface with Past Images, IEEE Computer Graphics and Applications, 25, 1, pp.54-63, (2005).
- [3] James Everett Young, Youichi Kamiyama, Juliane Reichenbach, Takeo Igarashi, Ehud Sharlin: How to Walk a Robot: A Dog-Leash Human-Robot Interface. 20th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man 2011), pp.376-382, August, Atlanta.
- [4] 大竹 孝佳, 深谷 健一, 生水 明, 永井 聡力: 力覚センサを介したひも操作による移動ロボットの誘導走行, 北海学園大学工学部研究報告, 第 35 号, pp.85-90, 2008 年 02 月 20 日.
- [5] Kobayashi, K., Nishiwaki, K., Uchiyama, S., Yamamoto, H., Kagami, S. and Kanade, T.: Overlay what Humanoid Robot Perceives and Thinks to the Real-world by Mixed Reality System, Proc. ISMAR'07, pp.1-2 (2007).
- [6] 林 政毅, 岡本 秀輔, 山田 雄大: ArOde:拡張現実感を利用したロボットシミュレータの開発, 情報処理学会シンポジウム論文集 2011, 第 3 号, pp.687-690, 2011 年 03 月 03 日.
- [7] ARToolKit:<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>.
- [8] Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11):1330-1334, 2000.