



直感的操作を可能とする建設機械遠隔操縦システムの研究

第一報 基本環境の構築と評価

Research on remote control systems for construction machinery that enable intuitive operation. First Report
Construction and Evaluation of Basic Environment.

伊勢珠皇¹⁾, 高橋秀智¹⁾

Suo ISE, Hidetomo TAKAHASHI

1) 東京工科大学 工学研究科 (〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1, takashihdmt@stf.teu.ac.jp)

概要: 現在, 建設業界では様々な遠隔操作システムが研究されている. 本研究では現状の遠隔操作システムの操作方法とは違い, 手の動きを読み取って操作するシステムを提案する. そこで, PS4 のゲームコントローラー, ジョイスティック, 手指トラッキングによる三つの操作方法を比較して, 直感的操作システムの有用性と改善点を確認する. さらに, アンケートと作業時間の計測を行い操作感を確認しつつ改善点を検討する.

キーワード: テレプレゼンス, 遠隔操作, 自己投射

1. 研究背景

ここ数年, 通信技術の発展やコンピュータの性能向上, 新型コロナウイルスの蔓延によって, 従来その場に行っていた作業を遠隔地から操作することが増えてきている. それに伴って, 様々な遠隔操作システムが作られているが, ほとんどのものはゲームのコントローラーや実機を模倣した操作方法を採用している.

これらは初めて触る人にとって, 慣れの少ない操作方法であり技術獲得や操作感覚を覚えるのに訓練が必要となる. よって人手不足などの問題のある今, さらに操作技術や感覚を身に着ける時間がさらに短くて済むシステムが求められている. 本研究の目的は建設機械の遠隔操作システムにおける操作性向上のために, 現実で使用されている操作方法と提案したい操作方法の環境を整備し操作感を比べ, 検証しつつ将来的に操作感改善や精密動作の達成のために錯覚や自己投射を利用して, そこで有効となる視覚情報やその他の感覚, 条件を検討することである.

また, 建設機械を選択したのは現在実用化がされている遠隔操作システムの中で改良の余地と実用化による効果が大きいと考えられたからである.

2. Open Construction Simulator について

2.1 Open Construction Simulator とは

OCS とは Open Construction Simulator[1]の略称である. 以下 OCS と省略する. ゲームエンジンの Unity[2]をベースに開発がされており重機を使った掘削や土砂運搬だけでなくシミュレーション環境も提供できる. OCS ではバックホ

ー, ブルドーザー, トラックの三つを操作できる. 今回はバックホーをメインに操作していく. 地面を掘削すると砂粒扱いの小さいポリゴンが生成されて, 荷台に積むことや別の場所に置くことができる. この演算では AGX Dynamics[3]が使用されている. そして, それぞれの車両では一人称と三人称の視点を選ぶことができる.

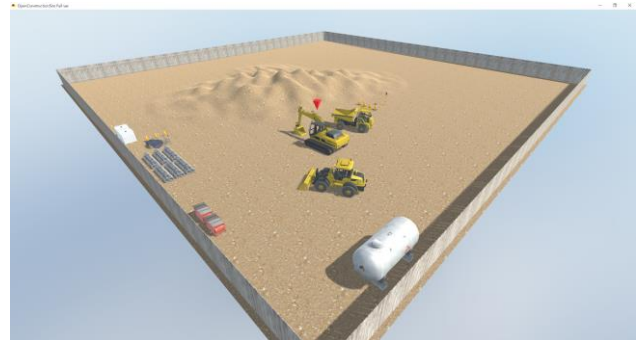


図 1 実験に使用する OCS の様子

(Open Construction Simulator より <https://field-robotics-japan.info/ocs>)

2.2 手を用いた OCS の制御システム

現状の制御システムではゲーム用コントローラーや実機模倣コントローラー(ジョイスティックコントローラー)を使用しているが, 私は手の動きを読み取ることによる遠隔操作システムの提案をしたいと考えていて, そのために Leapmotion[4]による手の動きを読み取ることやシミュレーター内のショベルカーのパケットを動かすために逆運動学を使用することも考えている. 逆運動学を使用することで先端の位置から姿勢が判明するためプログラムがし

やすくなることを考えている。

3. 操作感に関する実験

3.1 実験環境

仮想空間において被験者に仮想空間上の建築機械を操作してもらいその操作感を確認する。この時、操作方法はゲームコントローラー式、ジョイスティックコントローラー式、Leapmotion による直感式の三つである。操作のやりやすさを簡単なゲームによるスコアやアンケートを用いて評価する。

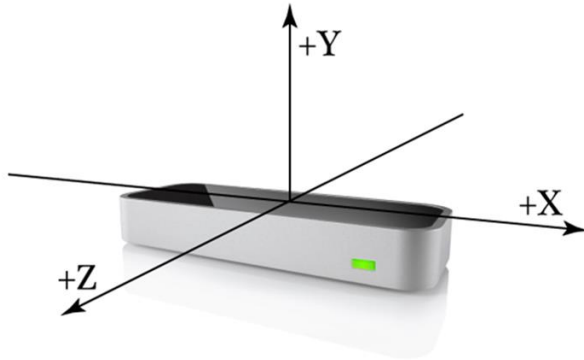


図 2 Leapmotion の座標系

Y軸高さ \ 検地範囲	X軸方向	Z軸方向
200mm	480mm	300mm
300mm	500mm	420mm
400mm	700mm	600mm
480mm	700mm	400mm

図 3 Leapmotion の検地範囲

3.2 実験環境

被験者は ゲームコントローラー、ジョイスティックコントローラーではキー入力、Leapmotion では自身の手や指の状態を読み取られ、それが PC 内の Open Construction Simulator を通して仮想空間内にある建設機械が表示され、モニターを越しに視覚的に情報が伝わる。この仮想空間は Unity で作成されていた。

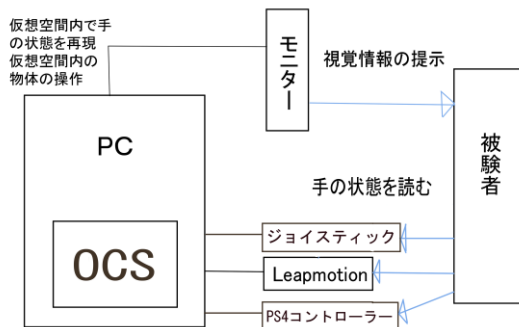


図 4 システム全体図

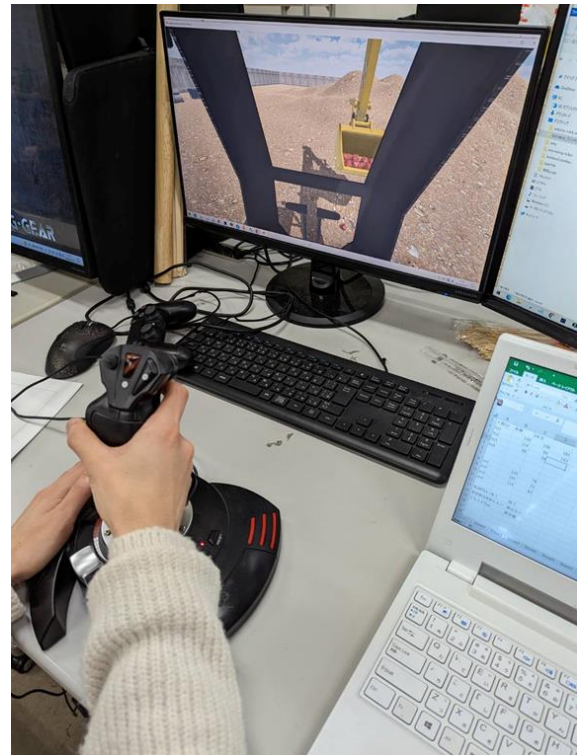


図 5 実験の画像

3.3 使用機材

- ・Playstation4 のコントローラー:1 つ
- ・THRUSTMASTER T.Flight Stick X:1 基
- ・Leapmotion:1 つ

3.3.1 Leapmotion のコントローラー化

Leapmotion はデフォルトではウェブカメラとして認識されるためそのままではコントローラーとして使用することができない。そのため、まずはコントローラーとして使用できるようにする。

Arduino Leonardo, nano の二つと Processing を使用する。データの移動する順番としては、

Leapmotion→Processing→Arduino-nano→I2C→Arduino-Leonardo

の順番である。このデータ送信によって、手の X,Y,Z 座標に加えてヨー、ロール、ピッチ角をそれぞれ出力して手の姿勢が取れるようにした。

3.3.2 ジョイスティックコントローラーの操作

今回使用するジョイスティックコントローラーと OCS との割り当ては、そのままでは対応しないため一度キーボード出力を挟んでから実行している。

表 1 ジョイスティックによる操作方法

	joystickのキー
決定	12
基部回転	ジョイスティック左右傾け
バケット傾け	1/4
根元上下	5/6
第一関節上下	ジョイスティック前後傾け

4. 結果と考察

現在の結果としてはゲームコントローラーとジョイスティックコントローラーにおいて実験を行うことができた。OCS 上で簡単な作業をしてもらい、そのかかる時間を計測した。そこで操作性でどのようなタイム差が出るのか、慣れによる時間の短縮はどのくらい影響が出るのかを実験した。

表2のゲームコントローラーの結果を「A-回数」、ジョイスティックコントローラーの結果を「B-回数」と表記すると下記ようになる。

表2 実験結果

コントローラー\被験者	一人目	二人目	三人目	四人目	平均
B-1(s)	139	108	181	114	135.5
B-2(s)	114	94	143	93	111
B-3(s)	98	79	151	94	105.5
A-1(s)	124	79	148	128	119.75
A-2(s)	107	73	112	108	100
A-3(s)	114	83	121	104	105.5

両方のコントローラーを用いたとき、回数を重ねるごとかかった時間は短くなることが確認された。二つの方法を比較するとゲームコントローラーの方が効果が薄いことが示されていた。慣れによる時間短縮はジョイスティックコントローラーの方が大きいことが考えられる。一方、最初のタイムがゲームコントローラーのほうが短いのは日頃使用していることが考えられる。

表3 アンケート結果

普段PS4コントローラーのようなものを使うか	使う	使う	使わない	使う
普段航空機シム用コントローラーを使うか	使わない	使わない	使わない	使わない
どちらが操作しやすかったか	ps	航空機	航空機	航空機

また、アンケートを取った時操作感ではジョイスティックコントローラーの方が評価が高かったので二つの比較ではジョイスティックコントローラーのほうが建設機械を操作する場合は操作感がいいと考えられた。

5. 結果を受けてこれからの展望

今回の結果を受けてまず、Leapmotion を用いた操作方法を実験して同じように実験の時間を測ることを考えた。そして、実験を少人数でしか行うことができなかつたのでさらに多く的人数で実験を行うことを考えている。

これによって三つの操作方法を比較して、どの操作方法が一番操作しやすいのかを検討する。そして Leapmotion を用いた操作方法の改善点の発見や視覚情報以外の刺激を用いて操作感に変わりがあるのかや、自己投射を用いてよりよい操作感を提供できるようにしていくことを考えている。

5.1 関連研究

実験結果を発展させて自己投射を応用して操作性を向上するために関連研究を調査した。

東京大学の金谷らの研究[5]によるとラバーハンド錯覚は他者から刺激を受けた際に起こるケースが多く確認されていたが自ら刺激を与えることによってもラバーハン

ド錯覚が起こることが確認された。

彼らはラバーハンド錯覚が生じた時の身体所有感覚は他者刺激、自己刺激に関わらず同時に与えられる視覚情報とのつながりによって保たれていることや、視覚だけではなく複合的な感覚も伴うことを示し、ラバーハンド錯覚が手の身体所有感覚に重要な示唆を与えるものであると結論付けている。

また、視覚だけでなく触覚情報を操作させることで疑似触覚を感じさせるという Pseudo-haptics という錯覚を利用しようと考え調査したところ、東京大学の子系ら[6]はその錯覚の安定性の向上を狙ってアバターに対する身体所有感を変化させたときの効果を測定する実験を行っていた。そこでは、身体所有感の構成要素の内「受容成分」と「操作成分」が錯覚効果との間に正の相関を有していたため身体所有感 Pseudo-haptics に影響する因子であることが示されていた。これによって重量を疑似的に感じさせることができれば建築機械の先端部分のフィードバックに利用してさらに操作感を上げられる可能性が考えられる。

6. むすび

実際に直感的に動かせるデバイスを使用して建設機械を動かすときに従来の操作方法と比較して実際に使用に耐えるのかを調べなければならない。今回の実験では三種類の操作方法で軽い操作とアンケートによる操作感の確認により Leapmotion を用いた操作方法の利点とほかの操作方法との比較でさらなる改善点を調査した。

今後、調査によって判明した改善点を修正するために自己投射や自己所有感など錯覚による効果などを活用することを検討していく。また、実際の機械に近い設備で実験することも検討している。

参考文献

- [1] Open Construction Simulator
<https://field-robotics-japan.info/ocs>
- [2] Unity <https://unity.com/ja>
- [3] VMC motion technologies 株式会社 “建設機械・土木工事・土壌シミュレーション”
<https://www.vmc-motion.com>
- [4] Ultraleap Leapmotion
<https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/>
- [5] 金谷翔子, 横澤一彦, “手の身体所有感覚とラバーハンド錯覚” バイオメカニズム学会誌, Vol. 39, No.2 2015
- [6] 子系卓, 伴祐樹, 割澤伸一, “アバターへの身体所有感が Pseudo-haptics 効果に与える影響の検討” 第 27 回バーチャルリアリティ学会大会論文集 1B5-5 2022 年 9 月