

2019年度卒業研究

モーションシミュレータを用いた重機の
遠隔操縦に関する研究

東京工業高等専門学校 情報工学科

制御情報研究室

学籍番号:15077

5J17 坂上 祥太郎

指導教員 松林勝志, 山下晃弘

目次

第 1 章 はじめに	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	1
1.3 本論文の構成	1
第 2 章 システム概要	2
2.1 システム構成	2
第 3 章 ヒアリング調査	3
3.1 概要	3
3.2 映像の収録	3
3.3 ヒアリング結果	5
第 4 章 筐体の開発	6
4.1 概要	6
4.2 設計	6
4.3 製作	8
第 5 章 プログラムの変更	9
5.1 概要	9
5.2 ストリーミング方式の変更	9
5.3 カメラの 2 台利用	9
5.4 プログラムのリファクタリング	9
第 6 章 実証実験	10
6.1 概要	10
第 7 章 まとめ	11
謝辞	12
参考文献	13

第1章 はじめに

1.1 研究背景

クローラキャリアやバックホウなどの重機の遠隔操縦は、作業の少人数化や人が立ち入ることが難しい場所での作業などに大きく貢献する事ができる。実際に AI と遠隔操縦を活用することにより、操縦室からオペレーター一人で複数台の重機の操縦 [1] や、災害時の緊急対応の実験 [2] も行われている。

遠隔操縦は、現場の状況を重機や現場に設置されたカメラの映像を見ながらコントローラを用い操縦することがほとんどである。しかしこの場合、実際の操縦と異なり重機の傾きや振動をオペレータが体感する事ができない。そのため、急な斜面での操縦の際に重機の横転やオペレータから見えない埋設管の破壊などの事故が起こることがあった。また、遠隔操縦では重機に設置したカメラと重機を俯瞰する映像のみを頼りに作業を行うため、通常の約半分にまで作業効率が低下してしまう [3]。

1.2 研究目的

本研究では、ヘッドマウントディスプレイ (以下 HMD) と小型モーションシミュレータを使用したスポーツ体感システム「シンクロアスリート」を応用し、高精細 4K 全天球カメラを使用した実際の運転と同等の映像と、車体の傾きや振動をオペレータが体感することで、実際の操縦と同等の状態で操縦できるシステムを開発し、安全安心かつ作業効率の高い重機の運用を実現する。

1.3 本論文の構成

「第1章 はじめに」では、本論文の研究背景、研究目的を示す。「第2章 システム概要」では、本システムの概要と構成、システム構成要素を述べる。「第3章 ヒアリング調査」では、オペレータの方に行ったヒアリングの結果を述べる。「第4章 筐体の設計」では、筐体の変更点を示す。「第5章 プログラムの変更」では、プログラムの変更点を示す。「第6章 実証実験」では、制作した本体を用いて実験・評価をする。「第6章 まとめ」では、今後の展望について述べる。

第2章 システム概要

2.1 システム構成

本システムは、リアルタイムに選手とシンクロするスポーツ観戦システム「シンクロアスリート」[4]を元に、筐体・ソフトウェアを変更し、実現する。システム構成図を図1に示す。



図1 システム構成図

本システムでは主にシンクロアスリートの、映像データと動きデータをライブで再生する機能であるリアルアイムモードを応用する。シンクロアスリートと同様に、重機の動きの計測・送信は重機にスマートフォンを設置し、開発した専用アプリケーションを使用し行う。専用アプリケーションでは重機の加速度を計測・送信し、シンクロアスリート本体で受信し同様の加速度を得られるようにモーションシミュレータを駆動させる。映像・音声には全天球カメラと開発した専用プラグインを用いて撮影・送信し、シンクロアスリート本体で受信の後HMD又はディスプレイを用いて表示させる。重機のコントロールや状態確認は先行研究で開発されたシステム[2]をそのまま使用する。

第3章 ヒアリング調査

3.1 概要

システムを開発するにあたって、現行のシンクロアスリートの問題を洗い出す必要がある。そこで、共同研究先である熊谷組のオペレータの方にヒアリングを行った。図2のシンクロアスリートに収録したクローラーダンプの映像と動きのコンテンツを入れ、体験して頂いた。

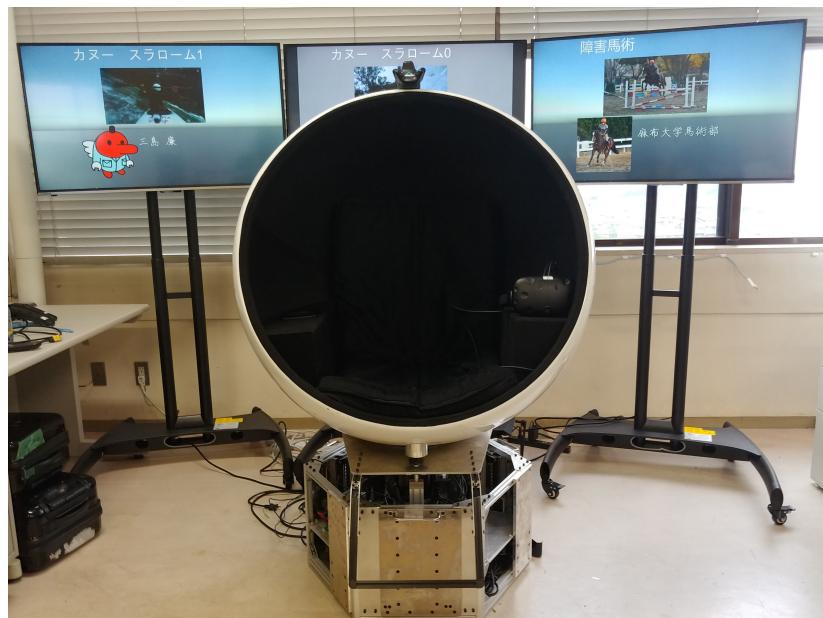


図2 シンクロアスリート

3.2 映像の収録

映像と動きは熊谷組筑波技術研究所内の実験フィールド（図3）で収録した。収録ではクローラーダンプを用い、前進・後退に加え斜面の登り降りや左右に傾いた斜面の走行など、工事現場で想定される一連の動きを再現した。また、全天球カメラは操縦室車内（図4）、操縦室屋根（図5）の二箇所に取り付け、実際の操縦と同じ目線と上方からの見下ろすような視点で体感できるようにした。



図 3 実験フィールド



図 4 車内カメラ



図 5 屋根カメラ

3.3 ヒアリング結果

ヒアリングの結果、「本物の重機とほぼ同じような感覚を得ることができる」と評価をしていただいた。しかし、いくつかの課題の指摘もあった。

3.3.1 座席の問題

丸型の座面は体が安定せず操縦がしづらいことがわかった。現状のシンクロアスリートは防音性・遮音性を高め、臨場感を向上させるため、球状の椅子を使用している。しかし操縦の際は実際に重機に使われているような形状のシートである方が望ましい。

3.3.2 操縦性の問題

HMD では操縦が行い辛いということがわかった。遠隔操縦の際には手元のジョイスティックやボタンなどのコントローラで操縦する。HMD をかぶると、手元のコントローラを見ることができない。また、HMD は 360 度すべての方向を見ることができるという利点もあるが、その反面酔いやすいという欠点もある。遠隔操縦では、長時間オペレータが作業するためなるべく酔いにくくする必要がある。

3.3.3 映像の表示

第4章 筐体の開発

4.1 概要

第3章で述べた問題を踏まえ筐体の設計・製作を行った。筐体は拡張性や汎用性を考え、主に20mmx40mmのアルミフレームを使用する。また、設計ではCADソフトウェアSolidWorks 2017-2018を使用する。

4.2 設計

シンクロアスリートは、座席部分を様々なスポーツの座席に変更できるよう設計されている。そこで本システムではシンクロアスリート設計図面の主に座席部分を改変する。具体的には主に以下の点を改変する。

4.2.1 椅子の変更

体をホールドしない以前の丸型の椅子から、体をしっかりとホールドする自動車運転用の椅子(図6)に変更する。



図6 自動車運転用の椅子

4.2.2 筐体へのディスプレイの取り付け

HMDは360°見ることができるが、コントローラを目視することができない。また、システムの前にディスプレイスタンド等用いてディスプレイを設置し使用すると、

座面が傾いているときにディスプレイが相対的に回転しており操縦が著しく難しくなることが考えられる。そのためディスプレイ三台を筐体の可動部分に取り付け、椅子と一緒に動かし、違和感のないディスプレイを使っての操縦も可能にする。

4.2.3 コントローラの設置

操縦の際にはコントローラが必要である。実際の重機と同等のコントローラ(図7)を左手アームレストに設置した。それにより乗り降りの障害にならず、且つ操縦が行いやすくする。



図7 コントローラ

以上の改変を施し、強度・操縦性等を考慮し設計した(図8)。



図8 CADを用いた設計

4.3 製作

設計した図面を元に製作した。部材の加工は東京高専の工場にて作成した。図 9 が製作した筐体である。



図 9 製作した筐体

ディスプレイを筐体の可動部分に 3 台設置するため、元のシンクロアスリートに比べ大きくなってしまった。そのため、ディスプレイ・座面等がついている部材と PC・モーションシミュレータが内蔵されている部分と切り離し運搬することを前提とした作りになった。また重心が前方に偏ってしまったため、電源遮断時に座面を水平に保つことができなくなってしまい、長期間使用しない間は、モーションシミュレータに使用されているバネ等の劣化を防ぐために、水平に保つ支えが必要になった。

第5章 プログラムの変更

5.1 概要

重機の遠隔操縦に適するよう、プログラムにも変更を施した。開発環境を以下に示す。

- OS : Microsoft Windows 10 Pro
- プロセッサ : Intel Core i7-7700k
- メモリ : DDR4 16GB
- GPU : NVIDIA GeForce GTX 1070

5.2 ストリーミング方式の変更

遠隔操縦では、映像を見ながら操縦するため、より高いリアルタイム性・高画質が求められる。熊谷組研究員の意見ではおよそ 300ms 程までには遅延を短くする必要がある。そこで遅延を低減させるために、従来の MJPEG を利用した動画ストリーミング方式からよりリアルタイム性の高い WebRTC に変更した。また同時に、カメラを従来の「Richo Theta S」から「Richo Theta Z1」に変更し 4K の解像度まで画質を高めることにした。

5.3 カメラの2台利用

運転席内のカメラだけでは、後方の確認が難しい。そのため、運転室外の後方側にもう一台カメラを設置し、後方の確認が行いやすいうようにした。

5.4 プログラムのリファクタリング

シンクロアスリートプロジェクト 2016 年当初から同じプログラムを使いまわしており、プログラムが煩雑になっていた。また、使用しているゲームエンジン「Unity」そのため今後の開発を踏まえ、Unity2018LTS へのリファクタリングを行った。

第6章 実証実験

6.1 概要

熊谷組筑波技術研究所でクローラーダンプを用いて実験を行った。実験では熊谷組のオペレータの方に、実際に操縦をしていただいた（図3）。その結果、「本物の重機とほぼ同じような感覚で操縦をすることができた」「後方にもカメラが有るため、普段では見ることができない後方を確認しながら操縦をすることができる所以扱いやすかった」との評価をいただいた。

第7章 まとめ

hoge

謝辞

hoge

参考文献

- [1] 株式会社 熊谷組, AI 制御による不整地運搬車（クローラキャリア）の自動走行技術の開発（オンライン）, 入手先
⟨https://www.kumagaigumi.co.jp/news/2019/pr_20190404_1.html⟩ (参照 2019-7-4).
- [2] 株式会社 熊谷組, 無人化施工における高機能遠隔操作室の開発 災害時の緊急対応を可能にする移動式遠隔操作室, 入手先
⟨https://www.kumagaigumi.co.jp/news/2016/pr_160324_1.html⟩ (参照 2019-7-4).
- [3] 日本電気株式会社, KDDI, 大林組, NEC 国内初！「5G」, 4K3D モニターを活用した建機の遠隔施工に成功, 入手先
⟨https://jpn.nec.com/press/201802/20180215_01.html⟩ (参照 2019-7-4).
- [4] 松林勝志 山下晃弘 富平準喜 佐藤悠之輔 瀧島和則 本間朗 吉川千里, 3 自由度モーションベースの制御とカヌー競技への応用, 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム, Vol.9, No.3, pp.1-9 (2019)