

# VR を用いた FPGA 実験のための遠隔実験システム

2331116 中村俊哉 成見研究室

## 1 はじめに

COVID-19 のパンデミックに伴い、多くの授業は対面型の授業からビデオ会議ツール等を活用した遠隔授業に変更を余儀なくされた。流行が収まり従来の対面授業に戻った後も、生徒や教師の体調や都合に合わせて対面授業が受けられない場合に遠隔授業が活用されている。特に遠隔で行う実験では、実験者がいつでも自分のペースで進めることができる、場所に捕らわれず実験に参加できる等の利点がある [1]。

遠隔でコンピュータサイエンスの実験を行う際、ソフトウェア実験ならば遠隔実験との親和性が高く、実験を通じて得られる経験やモチベーションは対面時のもものと近い [2]。対してハードウェアを使用する実験を遠隔で行った場合、実験者は疑似的なシステムを活用することで実験器具を操作するという体験をせずに終えてしまうケースがあった。加えて遠隔時には、同じ実験を行っている実験者が周りにおらず孤独感を感じ、モチベーションの低下などにつながる可能性が考えられる [3]。

本研究では、遠隔実験において対面で行う実験に近い体験の獲得、孤独感の低減を目的とする。これらを達成するために VR を活用して没入感を高め、対面時と似た操作方法を、用いることによって対面に近い体験を実現する。また、VR 空間内で他の実験者も同時に実験に参加することによって孤独感の低減を目指す。対象とする実験は FPGA を使用した論理回路設計実験である。

## 2 関連研究

### 2.1 対面実験の VR 化

Yu ら [4] はブリッジ回路を用いた抵抗の測定実験を VR 化している。従来の VR を活用しない遠隔実験は、非没入型でマウスやキーボードでの入力を必要とするため、実際のものに近い体験を得ることができなかった。この研究ではヘッドマウントディスプレイとコントローラを活用することで上記の問題点を解決しようとした。VR 空間内に実験設備を配置しており、完全にシミュレートされているので実世界上の実験器具が必要ない。

本研究は実在するハードウェアをリモートで操作するものであり、実世界の装置を操作している感覚を損なわないようにしている。さらに周りの実験者の様子を VR 空間内に同期するという点で異なっている。

### 2.2 遠隔 FPGA 実験

赤池ら [5] は対面想定で FPGA を用いた論理回路設計実験を遠隔対応するシステムを構築している。このシステムではマイコンボード (Arduino) を通じて、FPGA ロジックトレーナ上のスイッチや LED 等の入出力の制御とオシロスコープのオフセットや電圧の調整を行うことができる。マイコンボードが接続してある端末では、GUI ベースのアプリケーションからマイコンにトレーナやオシロスコープの操作信号を送ることができる。

本研究ではこのシステムを参考に、マイコンボードへの操作信号を送る GUI を VR に置き換えることで実体験に近い体験の獲得を目指す。また、VR 空間上で視覚的に周りの実験者の様子が確認できることで、孤独感の低減を目指す。

## 3 システムの設計

本システムの全体概要を図 1 に示す。本システムはユーザ部分と遠隔端末部分に分かれている。遠隔端末部分の外観を図 2 に示す。ユーザー一人に対して一つの遠隔端末が割り当てられており、ネットワークに接続されているアプリケーションを通じて自分の FPGA の操作を行うことができる。ネットワークには他のユーザや遠隔端末も接続されており、FPGA の状態やオシロスコープの設定などが全てのユーザに共有されている。

アプリケーションはユーザモードとシリアルオブジェクトモードを選択でき、それぞれユーザ部分の PC 端末、遠隔端末部分の PC 端末で起動する。ユーザモードでは端末に接続されている HMD に 3D 空間を映し、コントローラでキャラクターや FPGA などの操作が可能である。シリアルオブジェクトモードで起動すると、端末に接続されている FPGA のスイッチ、LED と同期しているオブジェク

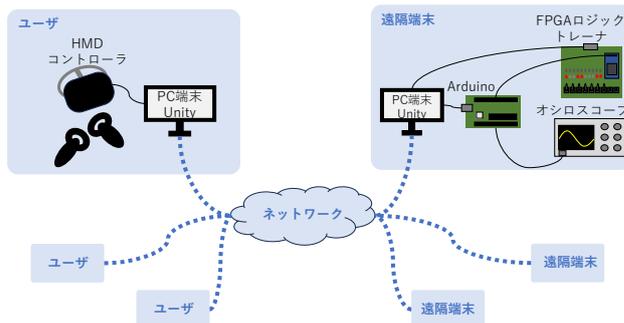


図 1 システム全体概要図

トを 3D 空間に配置する。他ユーザからのインタラクションなどによってこのオブジェクトの状態が変化する際に、ネットワークを通じて全ユーザに状態変化を同期させる。この同期の際、変更されたオブジェクトを設置したシリアルオブジェクトユーザはアプリケーションからマイコンボードへ変更された情報をシリアル通信する。

3D 空間上には表示のみを行うオブジェクトが配置されており、FPGA が出力する VGA 映像の表示や授業資料、同時並行で行われている対面実験室の様子が表示されている。これらの映像は、バックグラウンドで起動している ZOOM の画面共有やビデオから切り抜くことで 3D 空間上に表示している。

#### 4 評価実験

本システムを活用して FPGA を使用したテトリス作成実験を VR かつ遠隔地から行う実験を行った。行った期間は 2024 年度後学期に開講された情報数理工学実験第二およびコンピュータサイエンス実験第二の 3 ラウンド期間中の授業日 7 回のうち第 5, 6, 7 回である。実験の参加者は上記の授業を履修している学部 3 年生 2 人であった。被験者は本システムを利用して論理回路の設計と作成したテトリスについてのプレゼンテーションを行った。実験終了後にはアンケート調査を行い、映像酔い評価の SSQ[6] や VR の体験に関しての IPQ[7]、また本システムに対する使用感などについて複数個の項目に分けての自由記述を含んだ。

SSQ と IPQ について、各被験者の平均値を表 1 に示す。SSQ は評価値 20 以上で VR 酔いについて改善の余地があることを示す指標であるため、両被験者とも VR 酔いの傾向があったことが分かる。IPQ は最大評価値が 7 であり、3.5 以上で VR 体験として受け入れられるという指標である。そのため被験者 A は受け入れられず、被験者 B は受け入れられるものと判断できる。

自由記述では以下のような点が挙げられた。

- VR コントローラでの操作に慣れが必要

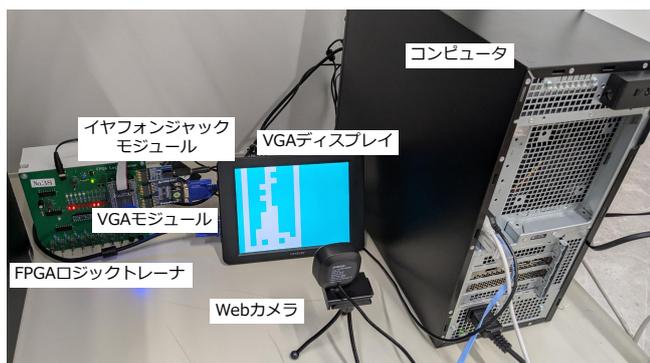


図 2 遠隔端末部分 外観

表 1 SSQ, IPQ 結果

| 質問項目 | 被験者 A | 被験者 B |
|------|-------|-------|
| SSQ  | 71.1  | 87.9  |
| IPQ  | 3.0   | 3.5   |

- キャラクターの移動、回転時に酔いを感じた
- 対面時よりは人が少なく感じたが、雰囲気自体はあまり変わらなかった
- 3D 空間内に表示される資料等が大きく見やすい

#### 5 おわりに

本研究では、遠隔実験において対面時に近い経験の獲得と孤独感の低減を目的として、ハードウェアを用いた学生実験を遠隔化し、VR を用いて実験装置を遠隔操作するシステムを作成した。評価として映像酔い、仮想環境での経験、システムに関する操作感を調査、分析した。

結果として、VR 酔いについて改善の必要性があることや、VR 空間上に大きく映像表示する有用性が示された。また、孤独感の低減について目立った効果を裏付けることは出来なかったが、プレゼンテーションなどの際には対面時と近い雰囲気を提供できた。

今後の課題として、VR 酔いの改善、操作感の改善、孤独感のさらなる低減、外部ツールを用いない画面共有手法の模索などが挙げられる。

#### 参考文献

- [1] Bose Ranjan. Virtual labs project: A paradigm shift in internet-based remote experimentation. *IEEE Access*, Vol. 1, pp. 718–725, 2013.
- [2] 土肥紳一, 今野紀子. 遠隔講義が与えるプログラミング教育への影響の分析. 情報教育シンポジウム論文集, Vol. 2021, pp. 1–8, 08 2021.
- [3] 平林信隆. コロナ禍における大学のオンライン授業に対する新入生の認識についての探索的研究. 共栄大学研究論集, pp. 55–66, Mar 2021.
- [4] Xize Yu, Ke Li, Jinze Li, Bo Wang, and Xiyang Zhang. Design of an vr-based immersive physics experiment teaching platform. In *2021 2nd International Conference on Information Science and Education (ICISE-IE)*, pp. 1102–1106, 2021.
- [5] 赤池英夫, 島崎俊介, 成見哲. Fpga を用いた論理回路設計実験のための遠隔実験システムの作成と評価. 情報処理学会論文誌教育とコンピュータ (TCE), Vol. 8, No. 2, pp. 51–63, jun 2022.
- [6] Kevin S. Berbaum Robert S. Kennedy, Norman E. Lane and Michael G. Lilienthal. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, Vol. 3, No. 3, pp. 203–220, 1993.
- [7] Igroup. The igrup presence questionnaire (ipq). <https://www.igroup.org/>, 参照 2025-01-08.