

D-14レンズアレイ拡張現実デバイスのためのFPGAによる映像補正処理の高速化

小柳龍人*¹, 松尾賢杜*^{1, *2}, 馬伝宇*¹, 崔浩哲*¹,
上城武司*¹, ムハマド アフィク*¹, 服部励治*¹
(*¹九州大学大学院総合理工学府, *²佐世保工業高等専門学校)

1. はじめに

近年, 仮想現実 (VR) 技術は目覚ましい発展を遂げており, 教育・医療・エンターテインメントなど多様な分野での応用が期待されている. しかし, 頭部に装着するデバイスの大型化・重量化が依然として大きな課題となっている. この課題に対し, レンズアレイを用いることで光学系を大幅に薄型化する手法が提案されている[1]. この方式は, ディスプレイに表示する映像に対し, 各レンズの倍率や歪みを補正するためのリアルタイムな映像補正処理を必要とする. しかし, この補正処理はPC上のソフトウェアで実行すると計算負荷が高く, 高解像度の映像を扱う際にリアルタイム性を損なう可能性がある. 本研究では, この映像補正処理のうち, 特に計算負荷の高い処理をFPGA (Field-Programmable Gate Array) 上にハードウェアとして実装し, リアルタイムで高速な処理を実現することを目的とする.

2. レンズアレイVRシステム

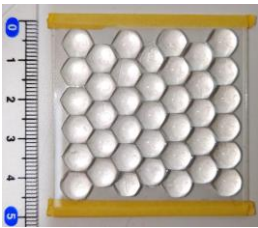


図1 レンズアレイ

先行研究[1]では, 薄型軽量なVRデバイスを実現するため, レンズアレイを用いた新しい光学系が提案されている. このシステムは, 個々の小さなレンズ(単位レンズ)を配列したレンズアレイ(図1)をディスプレイの直前に配置する. 各単位レンズによって生じる歪みや倍率の問題は, 図2の

ようにあらかじめソフトウェアで元映像を加工した補正画像を生成し, それをディスプレイに表示することで解決する. この手法により, 光学系の厚さを14.3mmまで薄型化できる可能性が示されている. しかし, この補正処理は演算量が多く, リアルタイム化が大きな課題となる.



(a) 変換前



(b) 変換後

図2 レンズアレイ VR のための画像変換

3. FPGAによる高速化

本研究では, 映像補正処理の高速化にFPGAを用いる. 図3に, 本研究で使用したFPGAボード「PYNQ-Z1」(Xilinx Zynq-7000 SoC XC7Z020-1CLG400C搭載)を示す.

FPGAとは, 内部の論理回路を設計者が自由に構成可能な



図3 FPGA ボード

集積回路であり, 複数の処理を同時に実行できる並列処理能力に優れるという特徴を持つ. レンズアレイの歪み補正処理などは, 画素単位での並列処理が可能であるため, FPGAとの親和性が高いと考えられる. ソフトウェアによる逐次処理では時間を要する計算も, FPGA上でハードウェアとして並列処理することで, 大幅な高速化が期待できる.

4. 研究方法と今後の展望

開発は「AMD Vivado 2025.1」を用いて行う. 図4に, リアルタイムな映像補正システムの構成を示す. PCから入力した映像をHDMI入力としてFPGAボードに取り込み, FPGA内部に実装した自作の映像補正IPコアで補正処理を施し, HDMI出力から外部ディスプレイへ補正後の映像を出力する. まず, HDMI入力された映像信号をFPGA内部のロジックで扱えるストリーム形式に変換するIPと, 処理後のストリーム信号を再びHDMI信号として出力するIPを配置する. 図5に, 実際のブロックデザイン(概略)を示す.

次に, その間に自作の映像補正IPコアを接続する. このIPコアは, Verilog-HDLを用いて設計し, レンズアレイの特性に応じた画素ごとの補正演算を, FPGAの並列処理を活かしてハードウェア化することで, 映像補正処理を高速化させる.

現在は, システムの基盤となるHDMI映像のパスルー機能の確立に取り組んでおり, 詳細は当日発表する予定である.



図4 映像補正システムの構築

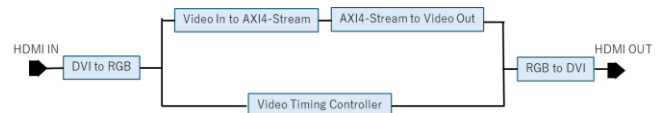


図5 ブロックデザイン

5. おわりに

本稿では, レンズアレイ拡張現実デバイスにおける映像補正処理を, FPGAを用いて高速化する研究を行った. 本研究の実現により, VRデバイスの小型化や, 低遅延で没入感の高い体験に貢献できる.

参考文献

- [1] Muhamad Affiq Bin Misran, *et. al.*, “Design of Lens-array-based Compact VR Optical Systems”, Proceedings of the International Display Workshops Volume 31 (IDW '24) (2024)