

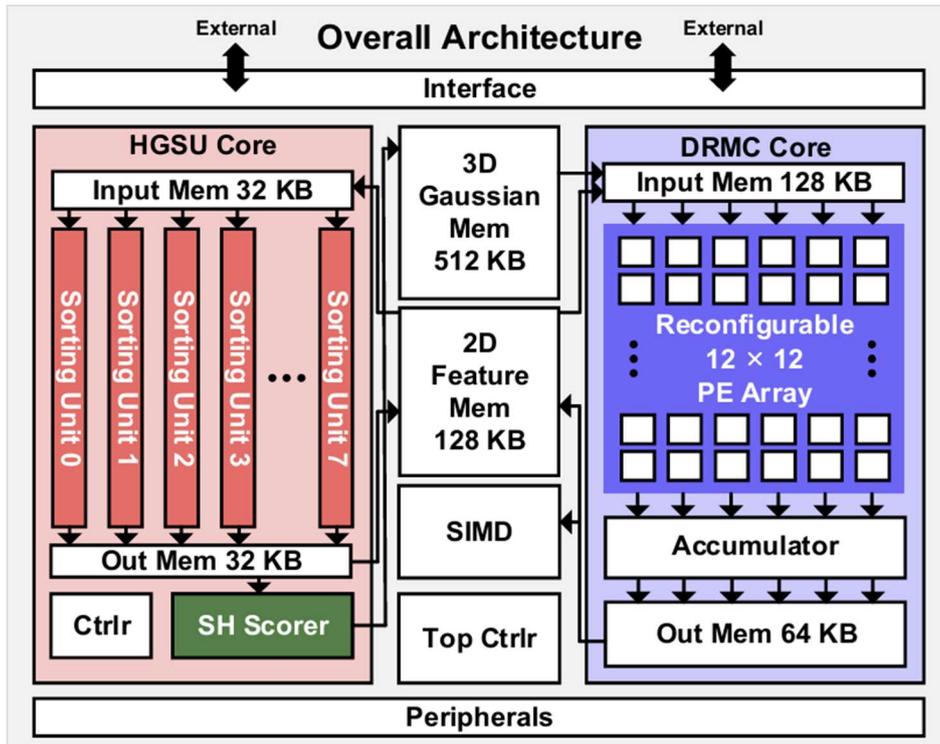
2024 A-SSCC Review

KAIST 전기및전자공학부 박사과정 엄소연

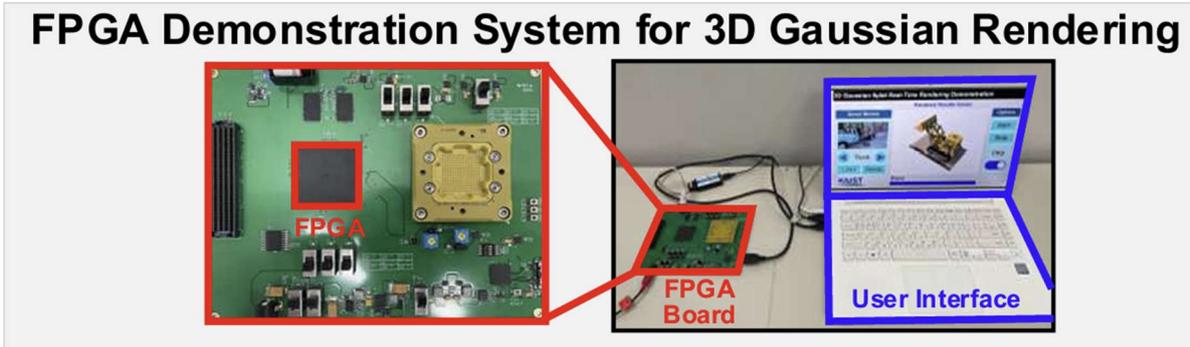
Session 7 FPGA Implementation for Emerging Applications

이번 2024 IEEE ASSCC 의 Session 7 에서는 AI on FPGA 라는 주제로 총 4 편의 논문이 발표되었다. 이 세션에서는 이벤트 비전 센서를 활용한 객체 검출, 고속 3D 렌더링, 실시간 SLAM 가속기, 그리고 포스트 양자 암호를 위한 FPGA 가속기가 소개되었다. 본 후기를 통해 2 개의 논문에 대해 상세히 살펴보고자 한다.

#7.2 는 KAIST 에서 발표된 논문으로, 3D Gaussian Splatting (3DGS)을 활용한 고품질 3D 렌더링 FPGA 가속기를 소개한다. 3DGS 는 이전의 Neural Radiance Fields (NeRF) 방식보다 투명 및 반사 장면 렌더링에서 더 우수한 품질을 제공하며, 적은 학습 데이터로도 효율적으로 장면을 표현한다. 본 연구는 Hierarchical Group Sorting Unit (HGSU)를 설계하여 불필요한 가우시안을 사전에 제거함으로써 VR (Volume Rendering) 단계의 계산량을 줄이고, 처리량을 1.2 배 향상시켰다. Dimension Reconfigurable Matmul Core (DRMC)는 다양한 매트릭스 연산을 유연하게 처리할 수 있도록 설계되어, 자원 활용도를 극대화하며 1.4 배 높은 처리량을 달성하였다. 또한, Importance-Based SH Evaluation 를 통해 높은 수준의 디테일이 요구되지 않는 가우시안에서는 기본 밴드만 계산하여 메모리 사용량을 67.2% 줄이고 처리량을 9.3 배 향상시켰다. Cyclone V FPGA 에서 구현된 이 가속기는 66.6 FPS 의 실시간 렌더링 속도를 제공하며, 기존 대비 에너지 효율과 정확도 모두에서 우수한 성능을 입증하였다. 특히 Synthetic NeRF Lego 데이터셋과 T&T Truck 데이터셋에서 테스트 결과, PSNR 손실을 0.4dB 로 유지하면서도 높은 품질의 렌더링 결과를 보여주었다.



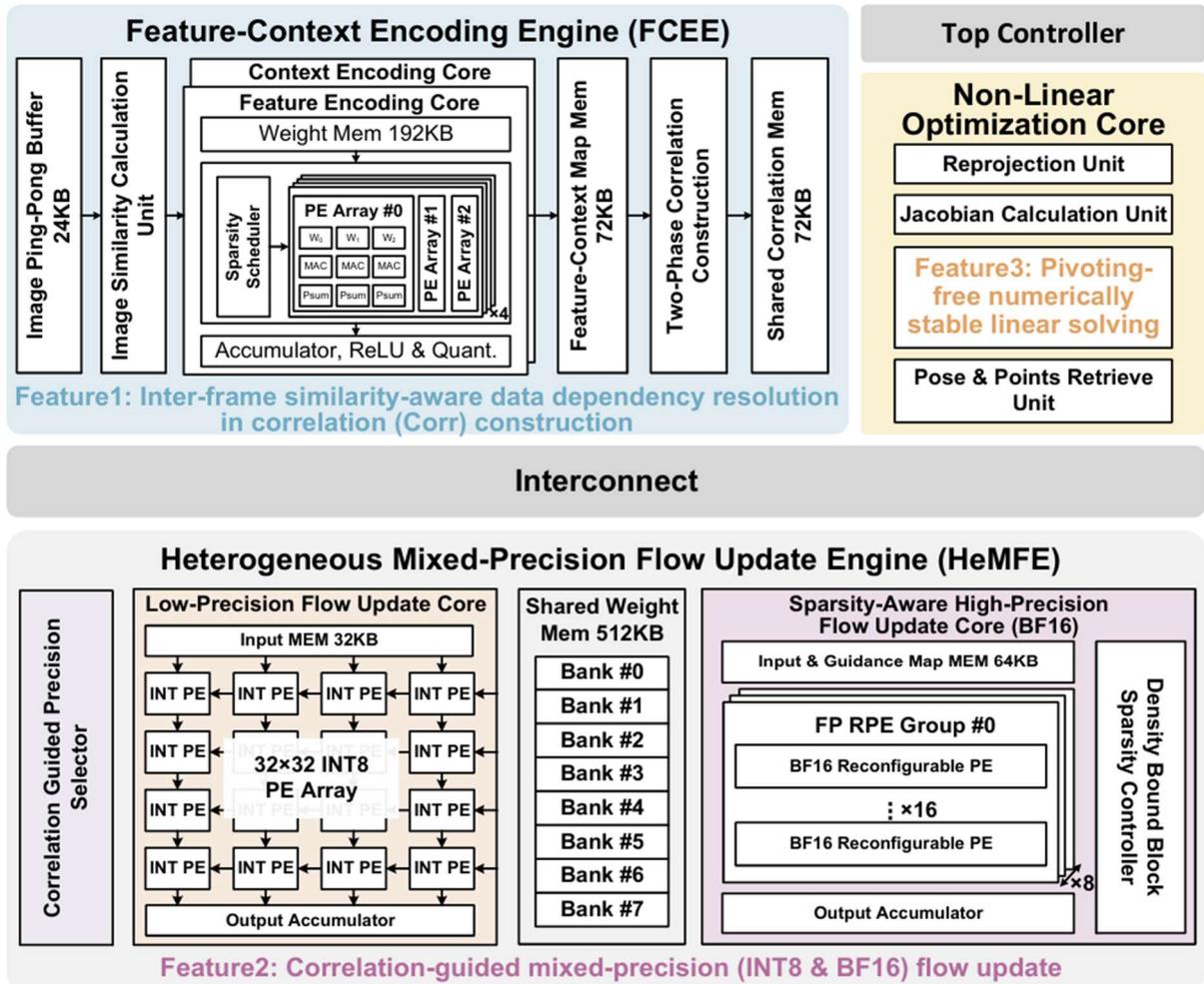
[그림 4] #7.2에서 제시한 3D 렌더링 FPGA 가속기 아키텍처.



[그림 5] #7.2에서 제시한 FPGA를 활용한 데모 시스템.

#7.3 은 Fudan University 에서 발표된 논문으로, Optical-Flow 기반의 Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) FPGA 가속기를 소개한다. 본 연구는 SLAM 의 data dependency 을 완화하고 연산 효율성을 높이기 위해 Inter-Frame Similarity 를 활용한 Correlation Construction 기법과 Correlation-Guided Mixed-Precision Flow Update 방식을 도입하였다. Inter-Frame Similarity 는 연속 프레임 간의 유사성을 기반으로 data dependency 를 줄이며, 연산 과정을 두 단계로 분리하여 연산 속도를 4.4 배 향상시켰다. 혼합 정밀도 연산(Mixed-Precision)은 상관도(Correlation)를 기반으로 정밀도를 조정하여 대부분의 데이터는 INT 로 처리하고 일부 중요 데이터만 FP 로 처리함으로써 연산량을 줄였다. 이를 통해 3.7 배 높은 속도를 달성하면서도 정확도 손실을 0.5% 이하로

유지하였다. 또한, 비선형 최적화 코어(NLOC)는 Householder 변환을 활용해 수치적으로 안정적인 방식으로 Jacobi 행렬을 계산하고 해를 구했다. 본 가속기는 Xilinx XCZU7EV FPGA 에서 구현되어 65 FPS 의 처리량과 프레임당 110mJ 의 에너지 소비를 달성하였으며, 기존 대비 500 배 이상의 에너지 효율성을 입증하였다. 제안된 아키텍처는 모바일 로봇 및 SLAM 응용에서 실시간 고해상도 맵 생성을 위한 새로운 가능성을 제시한다.



[그림 6] #7.3에서 제시한 SLAM FPGA 가속기 아키텍처.

저자정보



엄소연 박사과정 대학원생

- 소속 : KAIST 전기및전자공학부
- 연구분야 : Computing-In-Memory Processor
- 이메일 : soyeon.um@kaist.ac.kr
- 홈페이지 : <https://ssl.kaist.ac.kr/>