

공간가변노출 기반 엣지 인식 풀링을 적용한 HDR 이미지 센서

HDR image sensor via Edge-Aware Pooling of Spatially-Varying-Exposure

2025
전자공학과
산학박람회

Researcher 신동휘

Professor 지동우 교수님

ABSTRACT

본 연구는 급격한 조도 변화가 빈번한 환경에서 안정적인 영상 확보를 위해 공간적으로 노출 시간을 다르게 주는 SVE 기반 CMOS 이미지 센서를 제안한다. 제안된 2x2 SVE 픽셀 블록은 서로 다른 노출 시간을 제공하며, 이후 2x2 stride=1인 average pooling을 통해 포화를 억제할 수 있는 센서 레벨 HDR을 구현한다. 또한, average pooling 과정에서 발생하는 선해도 손실을 줄이기 위해 edge-aware pooling 알고리즘을 파이썬 기반 시뮬레이션 환경에서 적용한 결과, 그래디언트 정보량이 약 40% 증가하였다.

OBJECTIVES

기존 HDR 이미지 획득 방식인 “다중 노출 기반 합성”은 서로 다른 노출로 촬영된 다중 프레임을 필요로 하기 때문에 물체가 빠르게 움직이면 motion blur가 발생하며 frame rate이 낮아진다. 다른 방식인 “자동 노출 제어” 방식은 급격한 조도 변화에 즉각적으로 대응하기 어렵고 센서가 가진 dynamic range를 뛰어넘지 못한다는 단점이 있다. 본 연구의 목표는 이러한 문제를 해결하기 위해, 단일 프레임에서 여러 노출시간 정보를 동시에 획득할 수 있는 SVE 기반 HDR 센서를 구현하는 것이고 average pooling 기반 센서 레벨 HDR 합성과 더불어 edge 정보 보존을 위한 edge-aware pooling 알고리즘을 소프트웨어 레벨에서 검증하는 것이다.

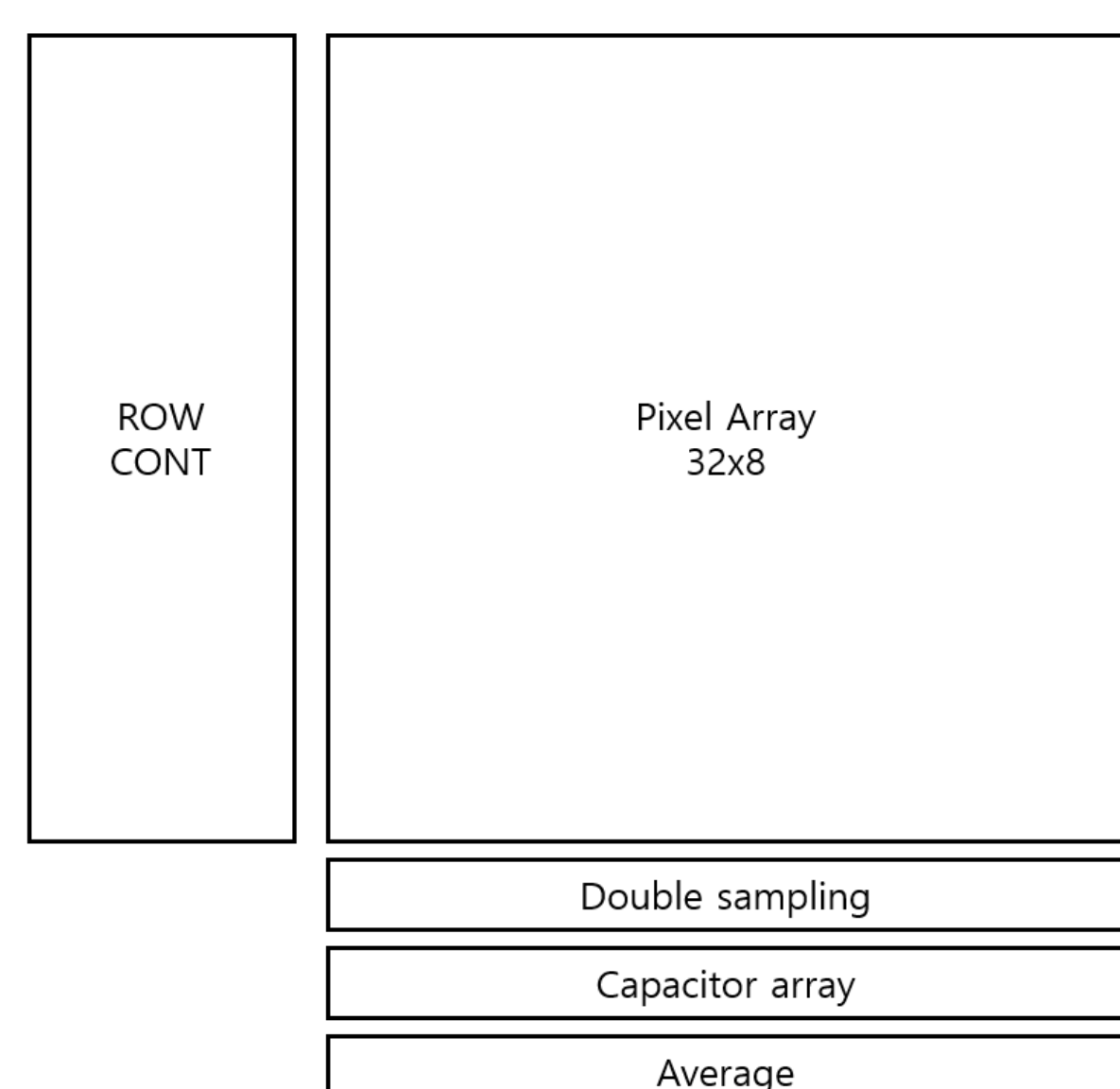


Fig1. overall architecture

METHODOLOGY

2x2 SVE 픽셀을 구현하기 위해 전용 row control 블록을 verilog로 구현했으며, 동작을 확인하기 위해 AMS 시뮬레이션을 수행하였다. 제안된 구조는 한 row에 두 개의 독립적인 리셋 라인을 필요로 하며, 각 노출시간에 맞는 타이밍을 제공하기 위해 픽셀 간 라우팅을 다르게 한다.

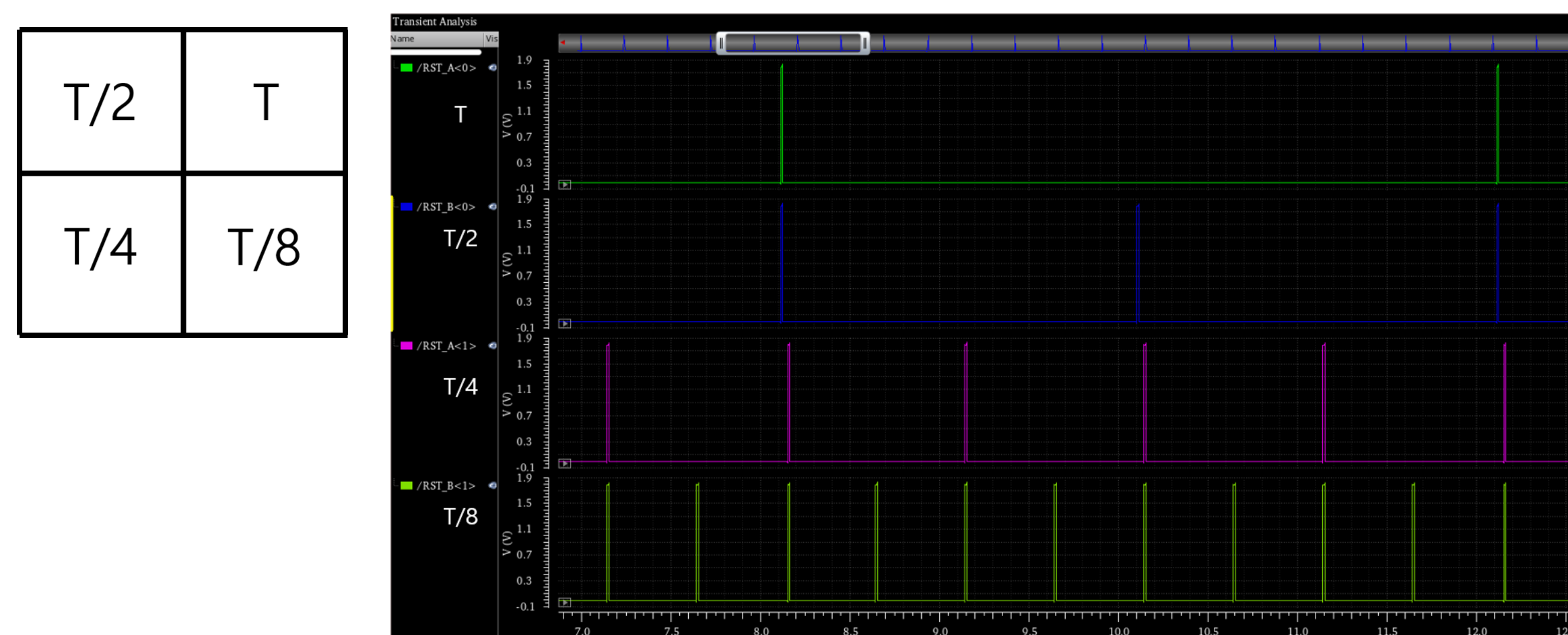


Fig2. SVE pixel control

Fig 3의 double sampling circuit을 통해 (리셋 레벨)-(신호 레벨)에 해당하는 전압을 추출할 수 있으며 이를 Capacitor array에 저장한다. 저장된 전압값을 토대로 Fig 4와 같이 average phase에서 평균내는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 센서 레벨 average pooling을 구현할 수 있다.

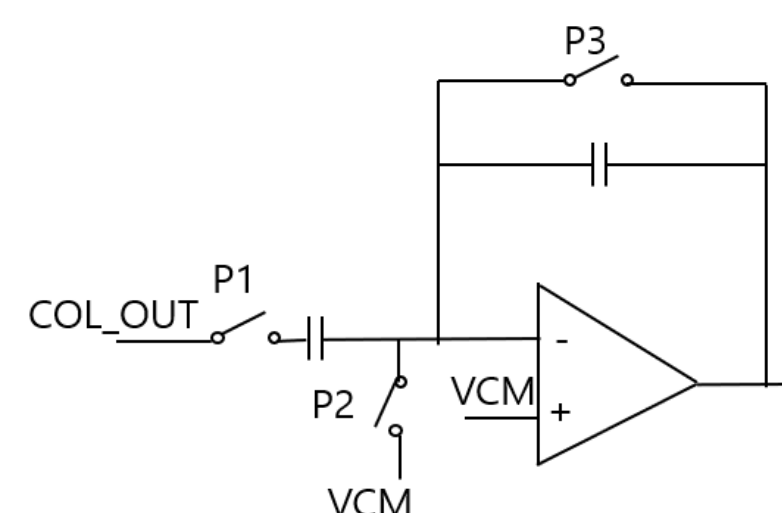


Fig3. double sampling circuit

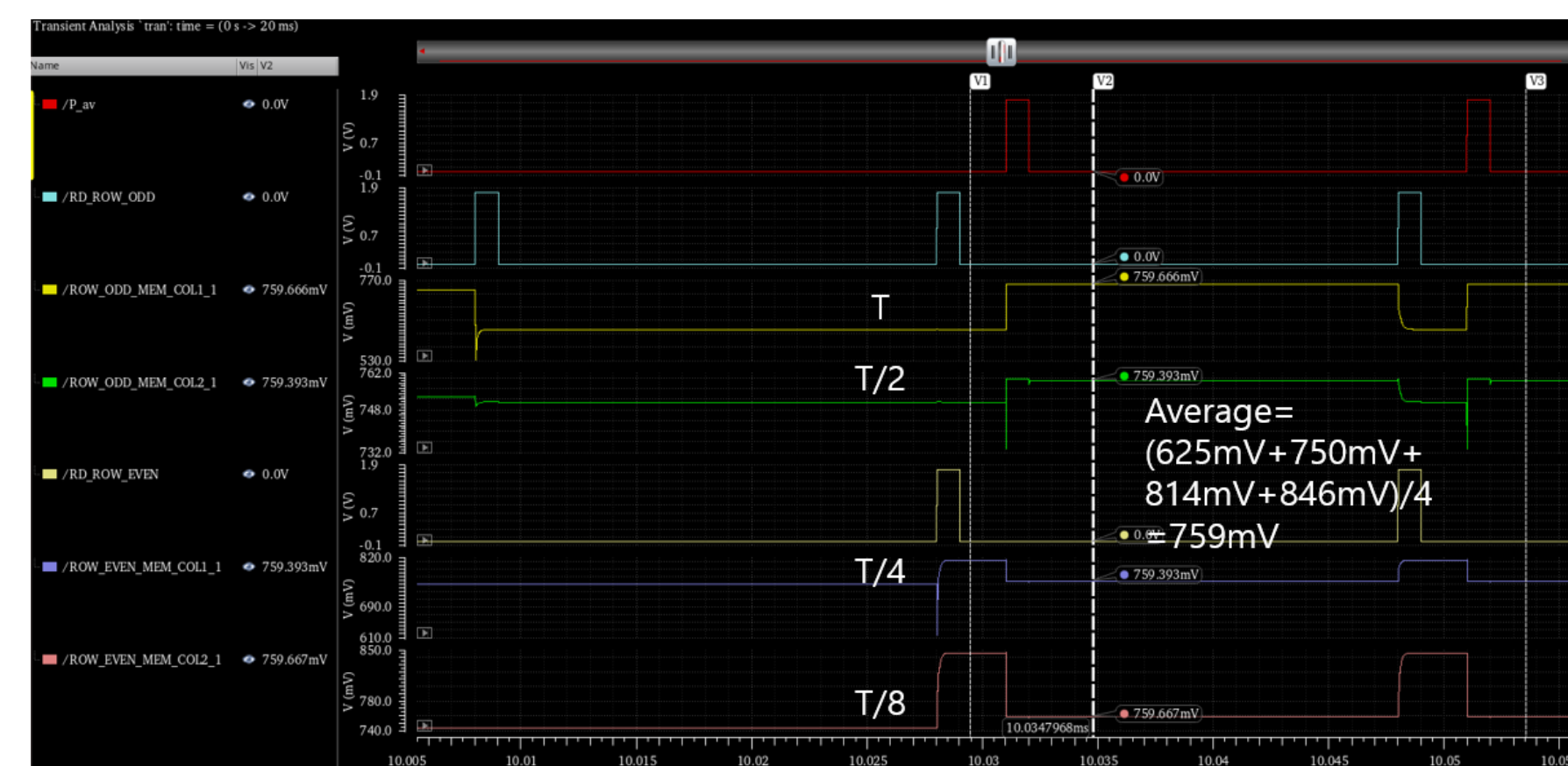
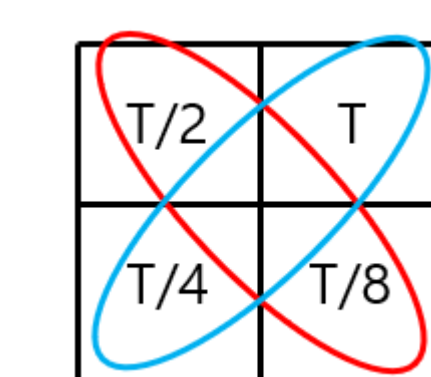


Fig4. average phase

Fig5. compare diagonal consistency

Edge-aware pooling은 픽셀 대각선 방향의 diagonal consistency를 비교하여 가중을 다르게 주는 방식으로 동작한다. $L(T)$ 와 $4 \cdot L(T/4)$, $L(T/2)$ 와 $4 \cdot L(T/8)$ 을 비교하여 어느 픽셀의 광량이 다른지 추적하고 이를 기반으로 더 일관된 노출상에 더 높은 가중을 준다.

RESULT

Fig 6와 같이 입력 이미지에 대해 단일 gain 증폭으로 처리한 결과, 고조도 영역에서 대규모로 포화되며 디테일이 손상되는 것을 확인할 수 있다. Fig 7은 같은 이미지에 대해 SVE 동작을 적용한 것이다.



Fig6. saturated image



Fig7. saturated image with SVE

Fig 8을 통해 SVE 이미지에 대한 average pooling이 급격한 조도 변화에 강인한 것을 확인하였고, Fig 9의 edge-aware pooling 결과를 통해 gradient magnitude 총합이 약 40% 증가한 것을 확인할 수 있었다.



Fig8. 2x2 stride=1 average pooling image

+40% total gradient magnitude increase



Fig9. edge-aware pooling image

CONCLUSIONS

본 연구에서는 2x2 SVE 픽셀 구조를 이용해 단일 프레임에서 급격한 조도 변화에 강인한 HDR 센서를 구현하였다. 이를 통해 기존 HDR 방식의 문제를 개선하며 센서 레벨 average pooling만으로 HDR 이미지 획득이 가능함을 확인하였다. 또한 average pooling의 문제점을 개선하기 위해 edge-aware pooling을 적용한 결과 gradient 정보량이 약 40% 증가해 제안된 구조가 조도 변화가 큰 환경에서도 머신비전에 요구되는 강인한 시각 정보를 제공할 수 있음을 보였다.