

이벤트 카메라 기반 시각 인지기술

Event Camera-based Visual Perception

연구책임자: 윤국진 | 소속학과: 기계공학과 | 홈페이지: <http://vi.kaist.ac.kr>

자율주행 자동차나 드론, 로봇, UAV 등과 같은 인공지능 기반 자율 시스템에서 핵심적으로 사용되는 카메라들은 센서 자체의 여러 가지 한계들로 인해 자율 시스템의 시각 인지에 많은 어려움을 초래한다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해, 이벤트 카메라 혹은 뉴로모픽 카메라라고 불리는 새로운 시각 센서를 이용하여, 보다 다양하고 도전적인 상황에서도 높은 수준의 시각 인지를 가능하게 하는 새로운 시각 인지 기술을 개발하였다. 2021년도에 인공지능 분야에서 최고 저널 및 학술대회인 IEEE TPAMI, IJCV와 IEEE/CVF CVPR, ICCV 등에도 다수의 논문을 발표하였다. 더 나아가 CVPR 2021에서 개최된 2021 CVPRW DSEC 챌린지에서 두 TRACK 모두 우승을 거두었고, 관련 연구의 우수성을 인정받아 IEEE SPECTRUM 및 VISION SYSTEMS DESIGN 등에서 주목할만한 최신 연구로 선정되어 소개되기도 하였다. 본 연구에서 개발한 이벤트 기반의 시각 인지 기술은 추후 시각 기반 인지의 수준을 한 단계 끌어올리고 시각 인지와 관련된 산업적인 측면에서 큰 파급 효과가 있을 것으로 기대한다.

1. 연구배경

사람이 주변 환경을 인지/인식함에 있어 시각 정보가 차지하는 비중이 가장 높은 것처럼, 자율주행 자동차나 드론, 로봇, UAV 등과 같은 인공지능 기반의 자율 시스템에서도 주변 환경의 인식을 위해 다양한 종류의 비전 센서를 활용한다. 그중 프레임 기반(frame-based) 카메라들은 매우 풍부한 인식 정보를 제공하고 이를 통해 다양한 시각 인지 기능을 구현할 수 있기 때문에 자율 시스템의 눈이라 불릴 만큼 핵심적인 센서로 자리매김하였다. 하지만 현재 일반적으로 사용되는 프레임 기반 카메라들은 낮은 동적 범위(dynamic range, 영상을 획득할 수 있는 최고-최저 조도 범위)로 인해 극심한 조도 환경에 취약하고, 낮은 프레임 레이트(초당 획득할 수 있는 영상의 수)로 인해 카메라가 빠르게 움직이거나 혹은 빠르게 움직이는 피사체가 있는 상황에서는 모션 블러(움직임으로 인해 영상이 뭉개지는 현상)로 영상의 품질이 저하되는 등의 단점이 있어, 자율 시스템의 시각 인지에 많은 어려움을 초래하고 이로 인해 제한된 환경에서의 동작만 가능하다는 한계가 있다. 따라서 보다 다양하고 극심한 환경에서의 자율시스템을 위해서는 새로운 센서의 활용과 이에 최적화된 시각 인지 기술의 개발이 요구된다.

2. 연구내용

본 연구에서는 위에서 언급한 프레임 카메라의 한계를 극복하고 다양한 환경에서도 강인한 시각 인지를 통해 상황을 인식할 수 있는 대안으로 이벤트 카메라를 활용한 시각 인지 기술을 개발하였다. 이벤트 카메라는 인간의 망막과 시신경 등 인간의 시각 체계를 모방하여 고안된 카메라로, 특정 프레임마다 영상 전체를 취득하는 일반 프레임 기반의 카메라와 달리, 밝기 변화가 발생한 픽셀들만 선택적으로 센싱하여 비동기적인 이벤트 스트림(event stream)의 형태로 기록한다. 이러한 특성 덕분에 이벤트 카메라는 일반 카메라에 비해 영상 획득의 지연시간이 매우 짧고(~10us), 동적 범위가 2배 이상 넓어 극심한 조도 환경에서도 강건하게 동작한다는 장점이 있다. 그러나 획득된 이벤트 스트림의 정보가 희소(sparse)하고 기존 영상 데이터들과는 형태가 달라, 프레임 영상을 대상으로 개발된 기존의 시각 인지 요소 기술들을 직접적으로 적용하기 어렵다. 본 연구에서는 먼저 이벤트 스트림을 입력으로 활용함과 동시에 이벤트 카메라의 특징점을 살린 고명암비(HDR) 영상 생성 기술과 초해상화 기술을 개발(IJCV, TPAMI 논문)하였다. 본 기술에서는 이벤트 스트림을 일정 간격으로 누적(stack)하여 심층 신경망에 입력으로 전달하고 적대적 학습법을 기반으로 고명암비/고해상도 영상을 생성하였으며, 저조도/고조도 영역에 대한 영상 정보 획득도 가능하게 되었다. 이렇게 생성된 영상은 이벤트 카메라의 장점을 모두 지니고 있으면서도 기존의 프레임 기반 영상과 동일한 데이터 형식을 가지고 있어 다른 후속 시각 인지 기능에 활용될 수 있다. 그리고 더 나아가, 서로 다른 모달리티(modality)의 이미지와 이벤트 스트림 간의 양방향 재건 프레임워크를 구성하고 지식 전이 기법을 활용함으로써, 이벤트 카메라를 활용한 범주 분류 및 의미론적 분할 분야에서 최고 성능을 달성(CVPR논문)하였다.

3. 기대효과

이 기술을 통해 이벤트 데이터로부터 영상을 생성하는 단계를 거치지 않고도, 이벤트 데이터를 직접 활용한 시각 인지가 가능함을 보였다.

다만 이벤트 카메라는 많은 부분에 있어서 기존 프레임 카메라의 한계점을 보완하지만, 센서의 특성상 조도의 변화가 발생하지 않으면 이벤트 스트림이 생성되지 않는다는 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 프레임 영상과 이벤트 카메라를 모두 사용하는 멀티 모달(multi-modal) 시스템을 구성하고, 변화하는 주변 환경 및 상황에 따라 최적의 특징(feature)을 사용하도록 하는 이벤트-이미지 Recycling 기술을 개발(ICC논문)하였다. 해당 기술은 움직임이 없어 이벤트가 발생하지 않는 경우에는 RGB기존의 프레임 영상에서 주된 특징을 추출하여 3차원 깊이를 추정하고, 조도가 극심하거나 모션 블러가 발생하는 상황에서는 이벤트 스트림을 통한 특징에 대한 보정을 수행하여 더 강인하게 3차원 깊이 추정을 수행하도록 하였다. 해당 방식 외에도, 넓은 시야각을 사용하는 어안렌즈 기반 Wide Field-of-View (WFOV) 이벤트 카메라 시스템을 구축하여 이벤트 스트림의 희소 문제를 최소화하고 Narrow Field-of-View (NFOV)에 비해 보다 풍부한 특징을 추출할 수 있도록 하였다. 이러한 특징점을 바탕으로 해당 연구에서는 WFOV-이벤트 카메라 기반 3차원 깊이 추정 알고리즘을 개발(RA-L 논문)하였으며, 그 연구적 성과를 인정받아 세계적으로 유명한 과학 및 엔지니어링 잡지인 IEEE SPECTRUM 및 VISION SYSTEMS DESIGN에 관련 연구가 소개되었다. 이에 더불어 연구팀은 세계적으로 저명한 학회인 CVPR Workshop에서 개최한 이벤트 카메라 기반 자율주행 차량을 위한 3차원 깊이 추정 기술 경진대회인 DSEC 챌린지에서 관련 기술로 Event-Only 및 Event-Image 두 track 모두에서 1등을 달성하였다.

본 연구에서는 기존의 프레임 기반의 카메라의 단점과 한계를 극복할 수 있는 이벤트 카메라 기반 시각 인지 기술들을 개발하였다. 학문적 측면에서 본 연구를 통해 얻은 시각 인지 기술들은 이벤트 카메라에 대한 선도적인 연구 결과이며 또한 수많은 후속 연구를 이끌어 새로운 연구 분야를 창출할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 기술적 및 산업적 측면에서도 본 연구의 결과는 자율주행 자동차나 드론, 로봇, UAV 등은 물론 지능형 모니터링 시스템 및 이미징 시스템 등에 활용될 수 있기 때문에 매우 범용성이 높으며, 이벤트 카메라가 현재 카메라들을 대체하거나 혹은 보완할 수 있는 용도로 활용될 수 있는 가능성을 보여주었기 때문에 다양한 자율 시스템에 활용이 가능할 것이며, 추후에 자율 주행 시스템이나 스마트 시티 등과 같은 다양한 미래 분야에 활용되어 큰 경제적 효과도 거둘 수 있을 것으로 기대한다.

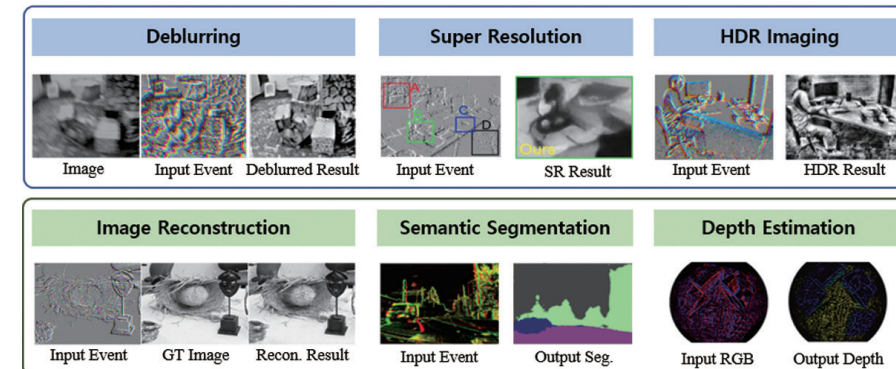


그림 1. 이벤트 카메라 기반 시각 인지 기술 연구 내용 요약



그림 2. Certification of the CVPRW2021 DSEC Event-only (Left) and Event-Image (right) track 1st place

연구성과

- 논문** "Joint Framework for Intensity Image Reconstruction, Restoration, and Super-Resolution with an Event Camera," IEEE T. PAMI, 2021.
- "E2SRI: Learning to Super-Resolve Intensity Images from Events," IEEE T. PAMI, 2021.
- "Learning to Reconstruct HDR Images from Events, with Applications to Depth and Flow," International Journal of Computer Vision (IJCV), 2021.
- "EOMVS : Event-based Omnidirectional Multi-View Stereo," IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L), 2021.
- "EvDistill: Asynchronous Events to End-task Learning via Bidirectional Reconstruction-guided Cross-modal Knowledge Distillation," IEEE/CVF Conf. CVPR, 2021.
- "Dual Transfer Learning for Event-based End-task Prediction via Pluggable Image Translation," IEEE/CVF ICCV, 2021.
- "Event-Intensity Stereo: Estimating Depth by the Best of Both Worlds," IEEE/CVF ICCV, 2021.

- 수상** 1st Place in CVPRW 2021 DSEC Competition (Event-only Track).
- 1st Place in CVPRW 2021 DSEC Competition (Event-Image Track).

- 홍보** IEEE SPECTRUM (<https://spectrum.ieee.org/new-camera-sees-more>)
- VISION SYSTEMS DESIGN(<https://www.vision-systems.com/non-factory/article/14212132/multiview-stereo-method-uses-eventbased-omnidirectional-imaging>)

연구비 지원

이벤트 카메라 기반 시각 지능을 위한 컴퓨터 비전 알고리즘 연구(한국연구재단, 중견연구자지원사업)