



# *Low-Resolution / Sparse Depth*

A Survey on RGB-D Datasets

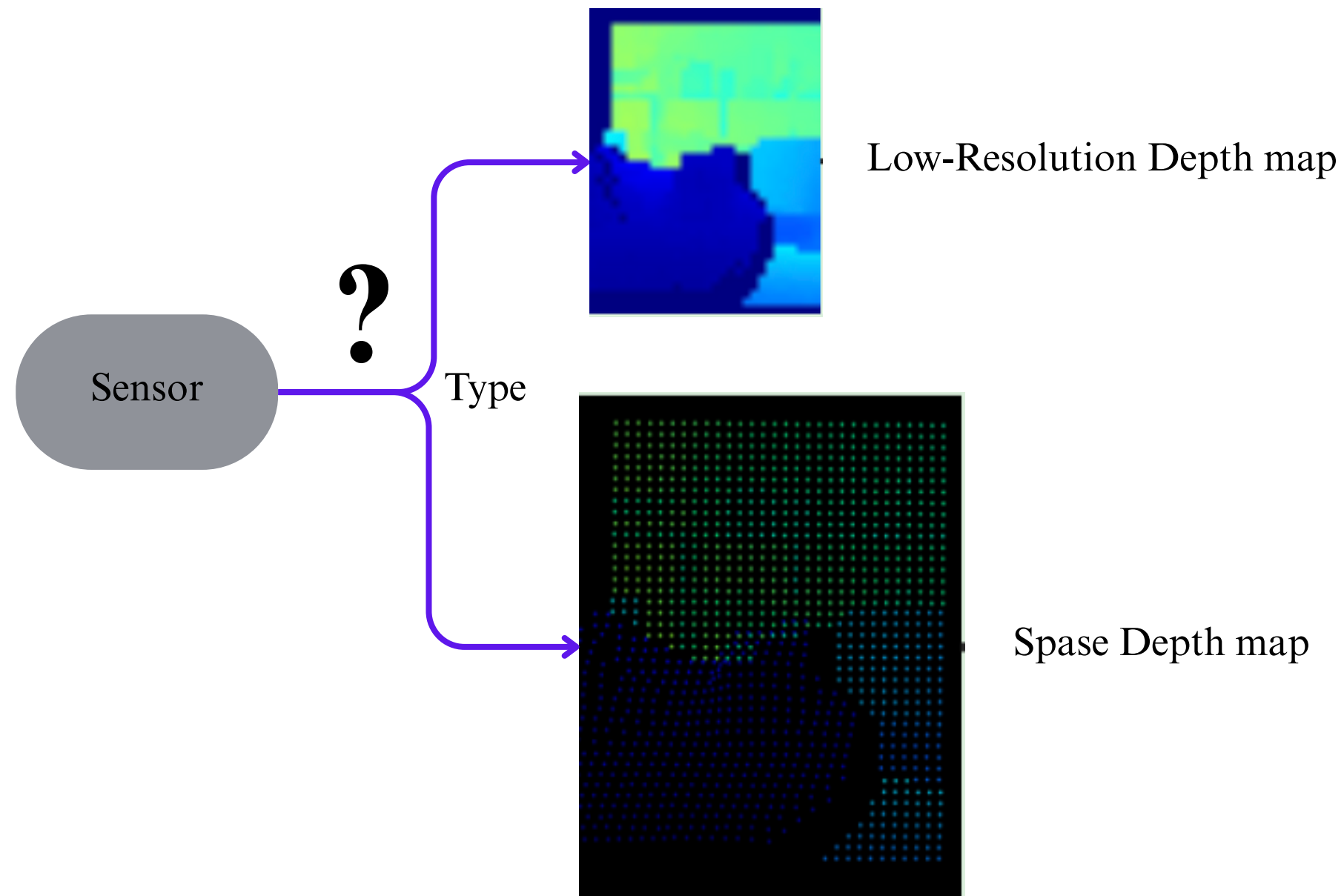
RGB Guided ToF Imaging System: A Survey of Deep Learning-Based Methods

JinYong Kim



# *Introduction*

- SVDC에 언급되어 있는 sensor type에 따른 두 가지 형태의 출력 depth 정보
  - (“DToF sensors, depending on their type, typically return two forms of depth information: low-resolution depth maps or sparse depth maps.”)



RGB

- Principle of dToF

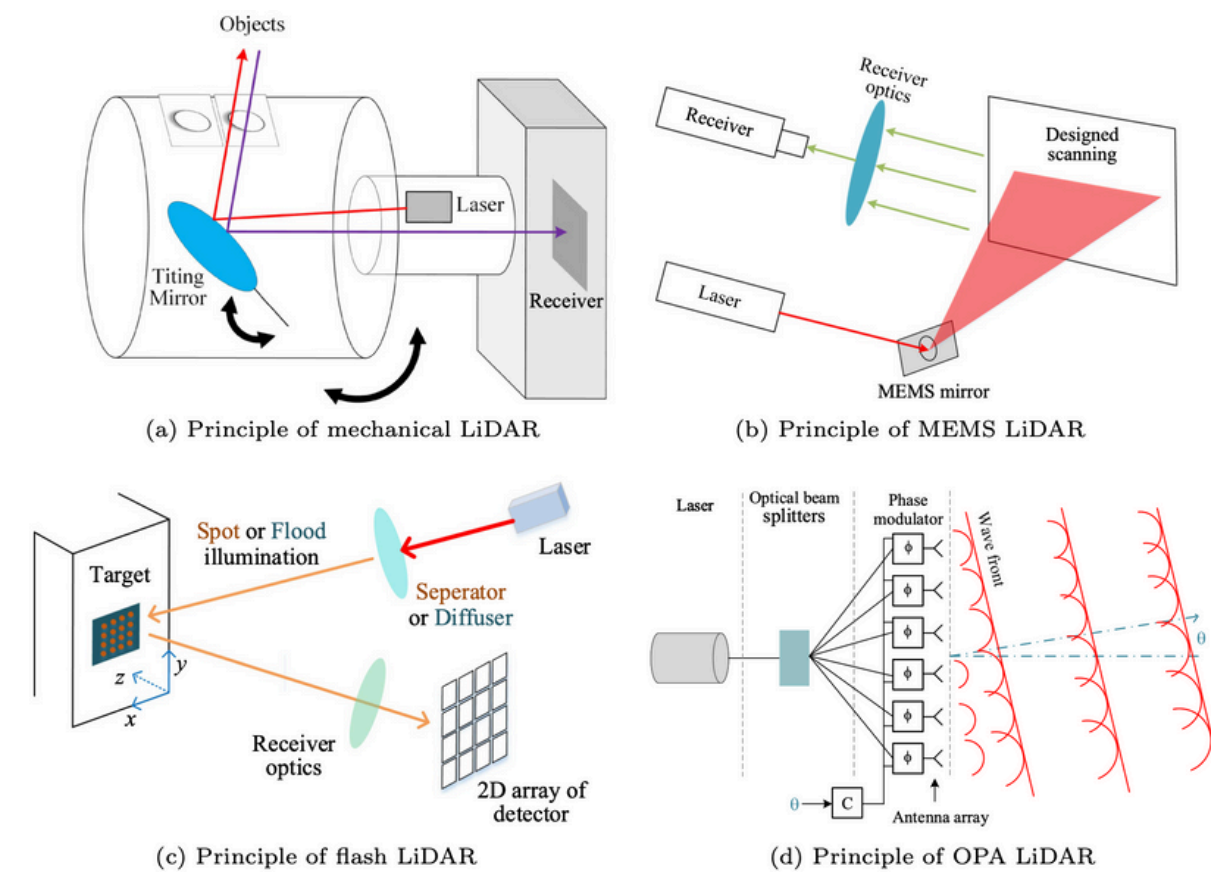
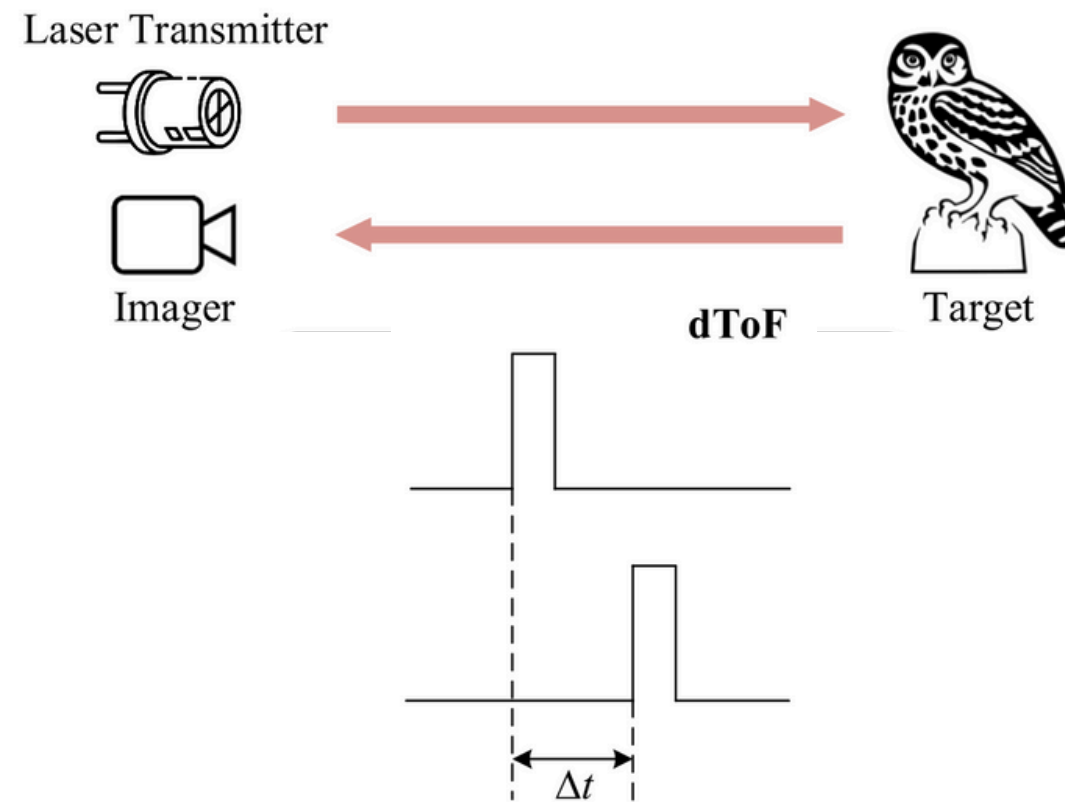
- laser light가 발사되는 순간, receiver의 전자 시계가 작동되어 시간을 측정한다.
- 발사된 pulse는 target에 반사되어 photodetector에 의해 부분적으로 수집된다.
- 대표적으로 LiDAR가 있다.

d : 방출기 및 수신기로 부터 target까지의 거리

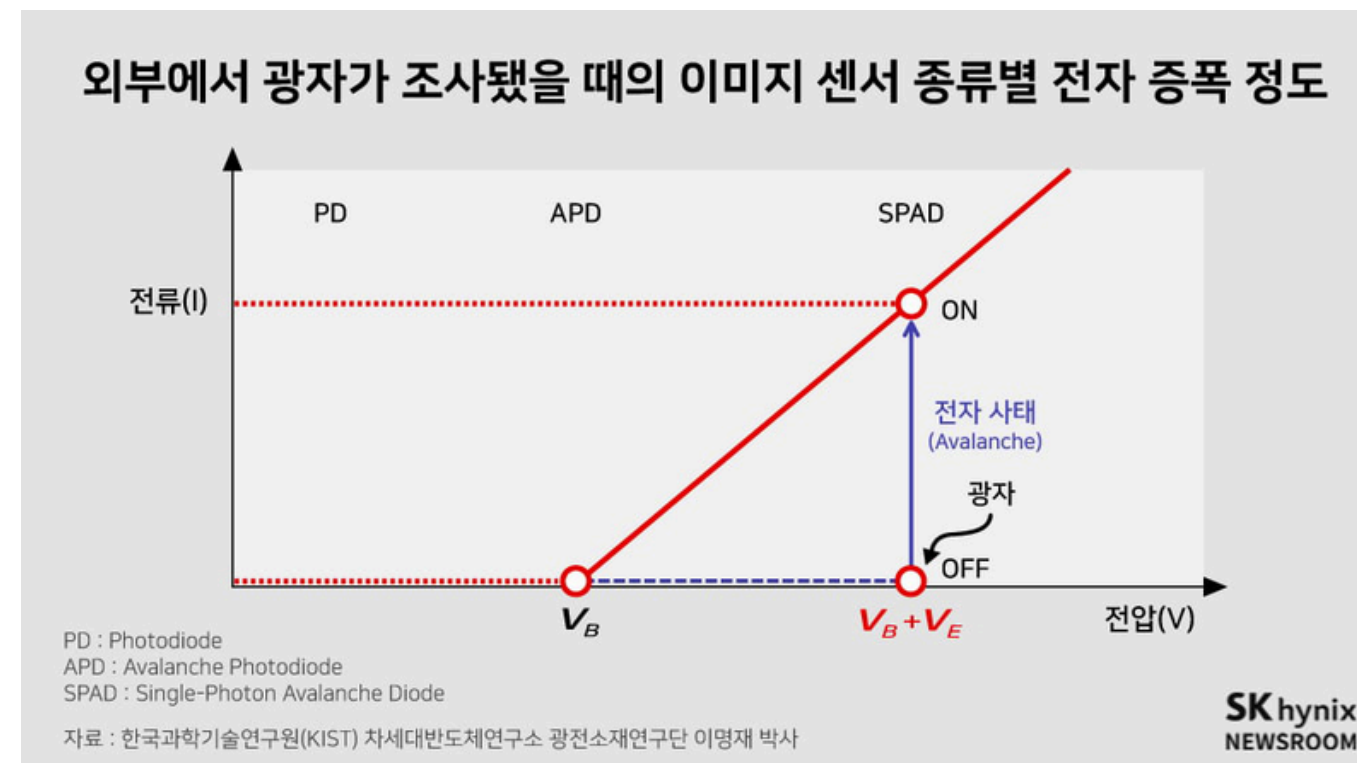
c : 빛의 속도,  $c \approx 3 \times 10^8 \text{m/s}$

$\Delta T$  : 시간 변화량 (방출부터 수신시작까지의)

$$d = \frac{c\Delta T}{2}$$

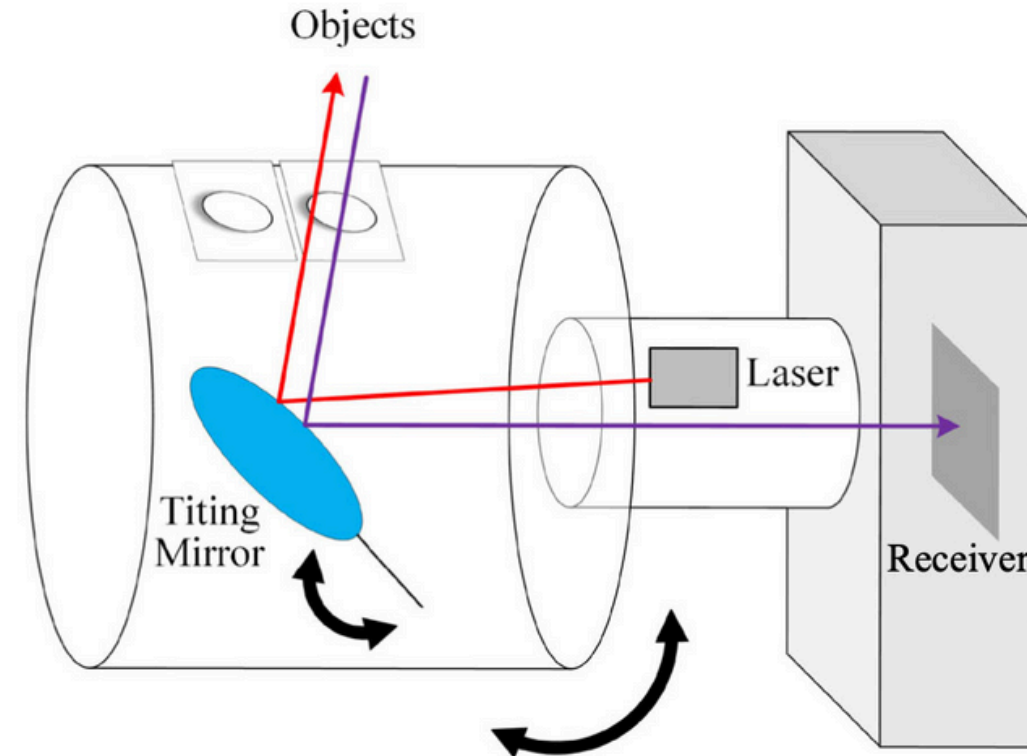


- Single Photon Avalanche Diodes(SPAD)
  - 최근에는 dToF 센서에서 photodetector로 SPAD를 사용한다.
  - 외부에서 SPAD로 photon이 조사되면 SPAD의 항복전압보다 높은 전압이 걸리게 되고, 이에 따라 자유전자가 급증하게 된다.
  - mm ~ cm 범위에서도 높은 심도 분해능을 갖고 있다.
- 심도 분해능 : 아주 밀접한 차이로 서로 떨어져 있는 두 물체를 구별할 수 있는 능력



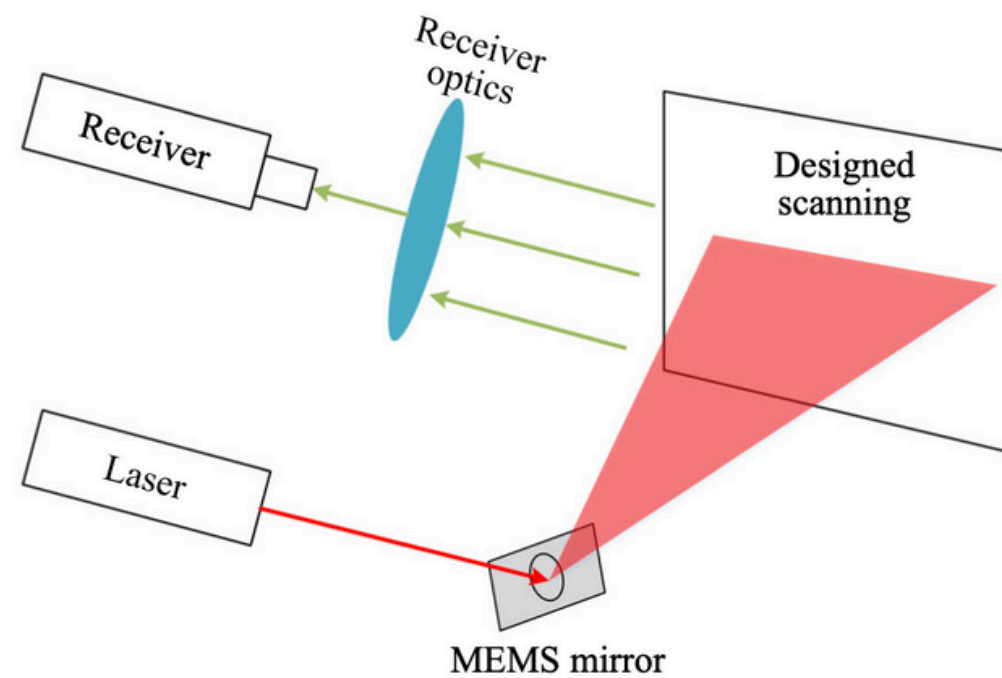
# *Sparse Depth*

- 전통적인 방식의 LiDAR 센서이다.
- 모듈 전체를 회전시키는 방식으로 360° 전체의 Sparse depth를 수집한다.
- 또는, Tilting Mirror를 회전시켜 pulse 방향을 바꾸어 Sparse depth를 수집한다.
- 비교적 Long-Range와 넓은 FoV를 갖는 장점이 있지만, 회전으로 인한 진동 문제를 갖고 있다.



(a) Principle of mechanical LiDAR

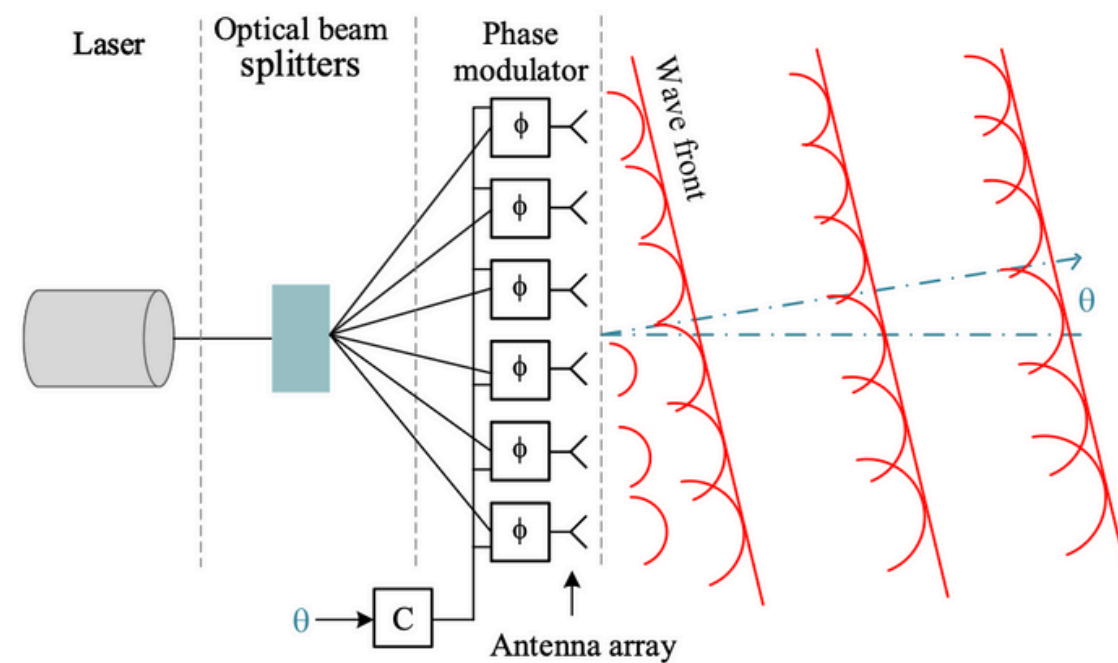
- Micro-ElectroMechanical System(MEMS)이 Micromirror를 제어하여 pulse의 방향을 조절해 Sparse Depth를 수집한다.
- Mechanical LiDAR에 비해 더 작고 가격이 싸다는 장점이 있지만, 적은 FoV인 한계가 있다.
- Medium-Range



(b) Principle of MEMS LiDAR



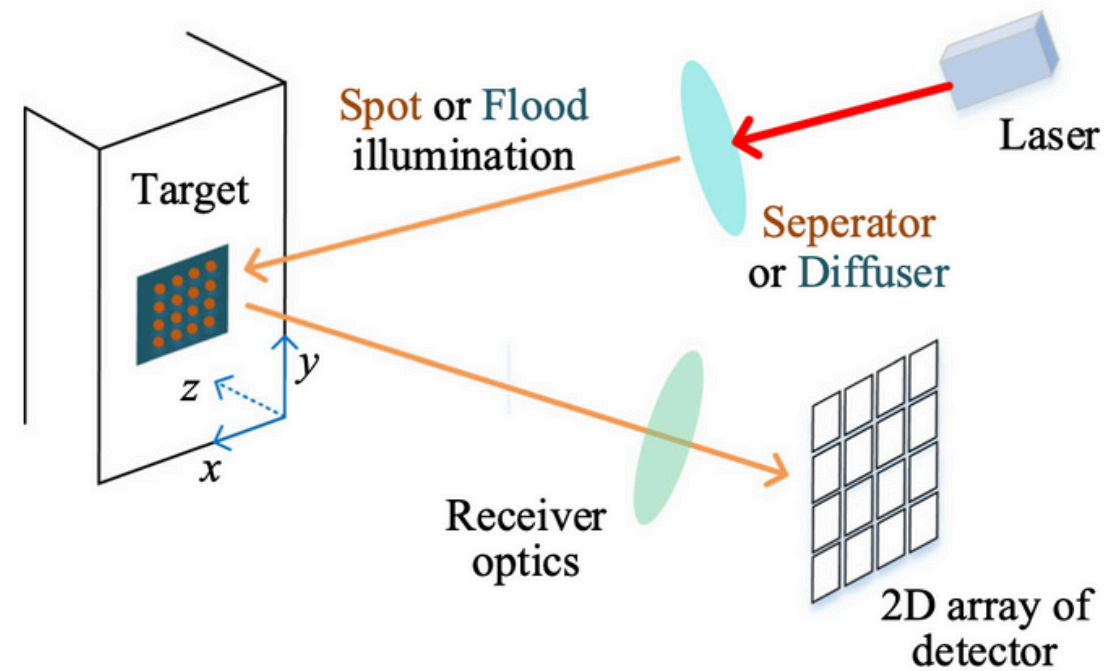
- Optical Phased Arrays(OPAs)가 전기적으로 laser에서 방출되는 pulse를 Antenna array를 통해 제어하여 phase 차이로 인한 빛이 특정 방향으로 간섭을 만들어 beam의 방향을 조향한다.
- 아직 개발중인 기술이다.
- 더 작고 가볍고, 기계적 회전 없이 방향을 조절한다는 장점이 있다.



(d) Principle of OPA LiDAR

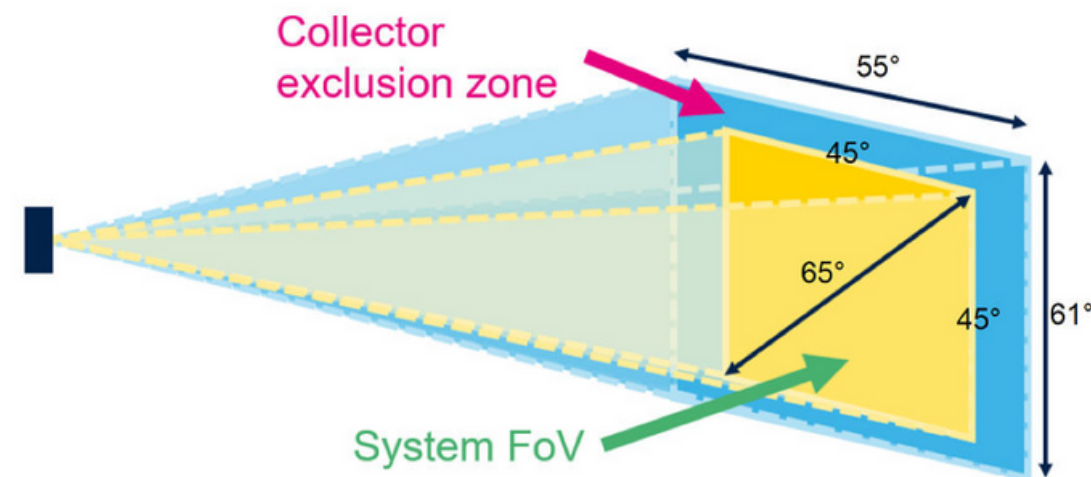
# *Low-Resolution Depth*

- 여러개의 laser array를 통해 FoV를 동시에 비추어 low-resolution depth를 수집한다.
- 또는, 단일 laser를 Seperator를 이용하여 확산시켜 FoV를 동시에 비추는 방식도 있다.
- SPAD array가 Receiver에서 픽셀 단위로 반사된 pulse의 도달 시간을 측정한다.
- 물체의 움직임 변화에 강하지만, SPAD 집적 기술의 한계로 resolution이 제한적이다.
- Short-Range



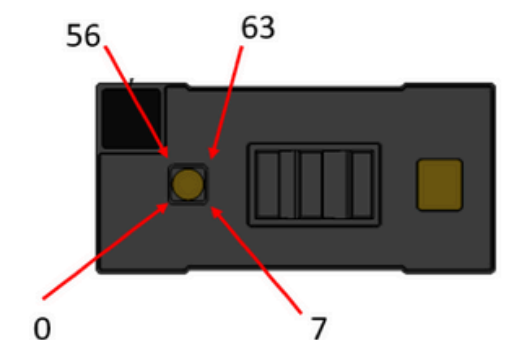
(c) Principle of flash LiDAR

- Deltar 논문에서 언급된 low-resolution depth sensor이다.
- 8x8 resolution, 최대 4m의 range를 갖는다.
- SPAD array를 사용하여 반사광을 픽셀 단위로 측정한다.
- Diffractive Optical Elements (DOE)를 사용하여 transmitter와 receiver에서 65° 정사각 FoV를 갖는다.



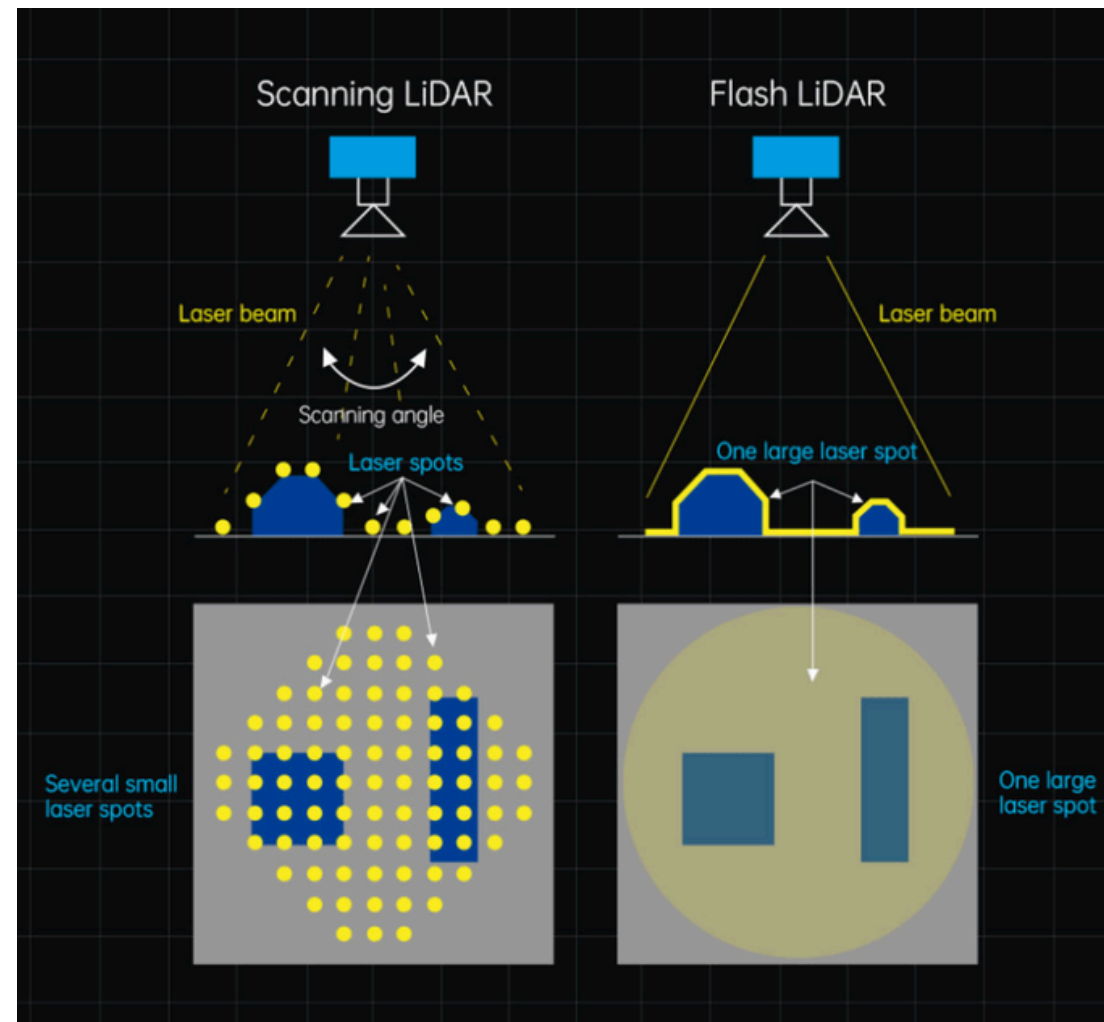
56	57	58	59	60	61	62	63
48	49	50	51	52	53	54	55
40	41	42	43	44	45	46	47
32	33	34	35	36	37	38	39
24	25	26	27	28	29	30	31
16	17	18	19	20	21	22	23
8	9	10	11	12	13	14	15
C	1	2	3	4	5	6	C

C = Corner zones  
INNER = all zones not identified as the corner



# *Conclusion*

- Low-Resolution Depth map을 생성하는 Flash LiDAR 등의 경우에는 2D SPAD array를 통해 FoV 전체를 동시에 측정하는 방식이다.
- Sparse Depth map을 생성하는 Mechanical, MEMS, OPA LiDAR 등은 단일 beam으로 순차적으로 FoV를 측정하는 방식이다.



# *References*

## Paper

- Lopes, Alexandre, Roberto Souza, and Helio Pedrini. "A survey on RGB-D datasets." Computer Vision and Image Understanding 222 (2022): 103489.
- Qiao, Xin, et al. "Rgb guided tof imaging system: A survey of deep learning-based methods." International Journal of Computer Vision 132.11 (2024): 4954-4991.
- Li, Yijin, et al. "Deltar: Depth estimation from a light-weight tof sensor and rgb image." European conference on computer vision. Cham: Springer Nature Switzerland, 2022.

## Technical Report

- “Time-of-Flight (ToF) 8x8 multizone ranging sensor with wide field of view” STMicroelectronics. 2021.

## Media

- SK-Hynix newsroom, <https://news.skhynix.co.kr/next-gen-3d/>





*Thank you*

JinYong Kim

E-mail: [valere2709@icloud.com](mailto:valere2709@icloud.com)

Phone: (+82) 10-7317-2709

