



Low-Resolution / Sparse Depth

A Survey on RGB-D Datasets

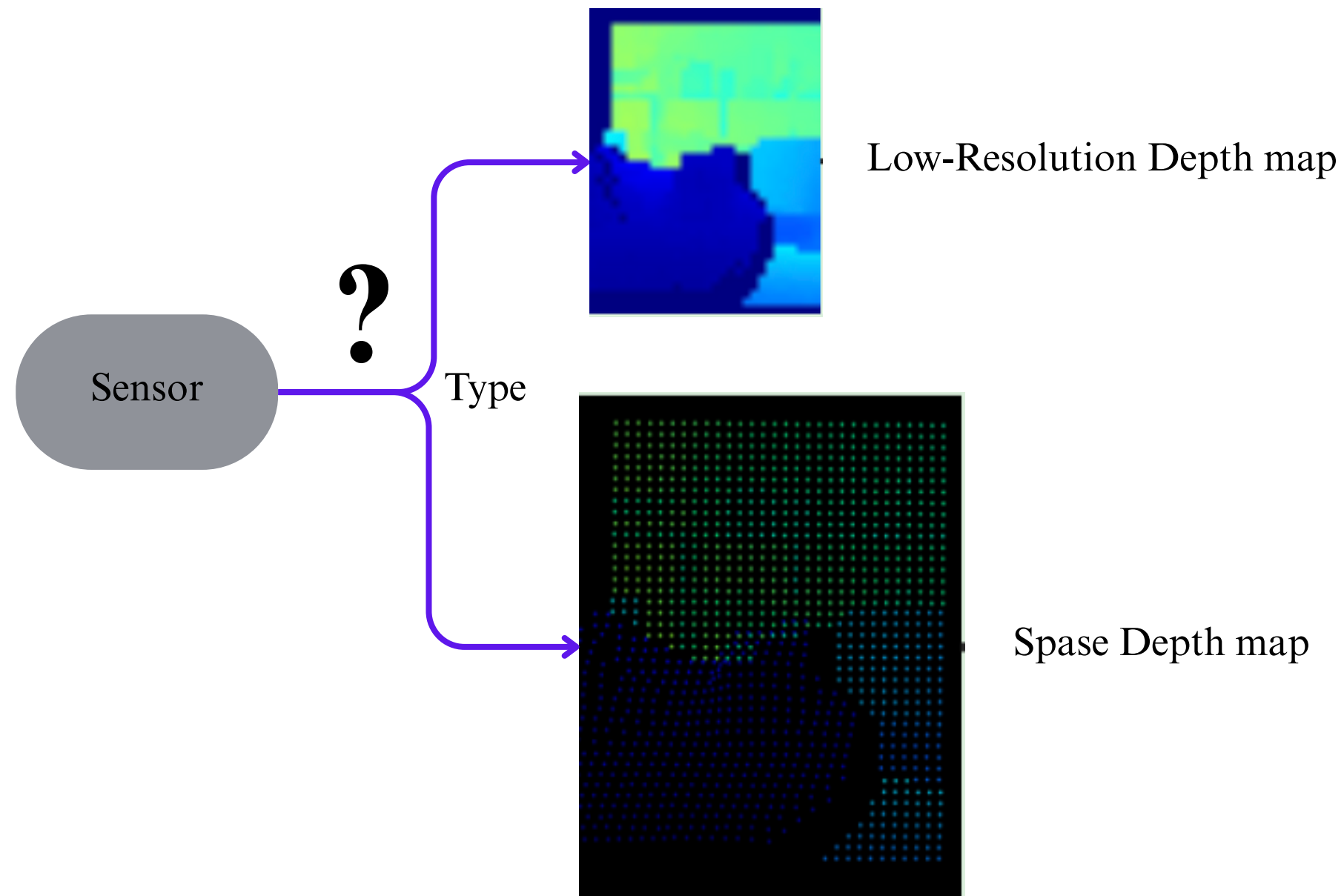
RGB Guided ToF Imaging System: A Survey of Deep Learning-Based Methods

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

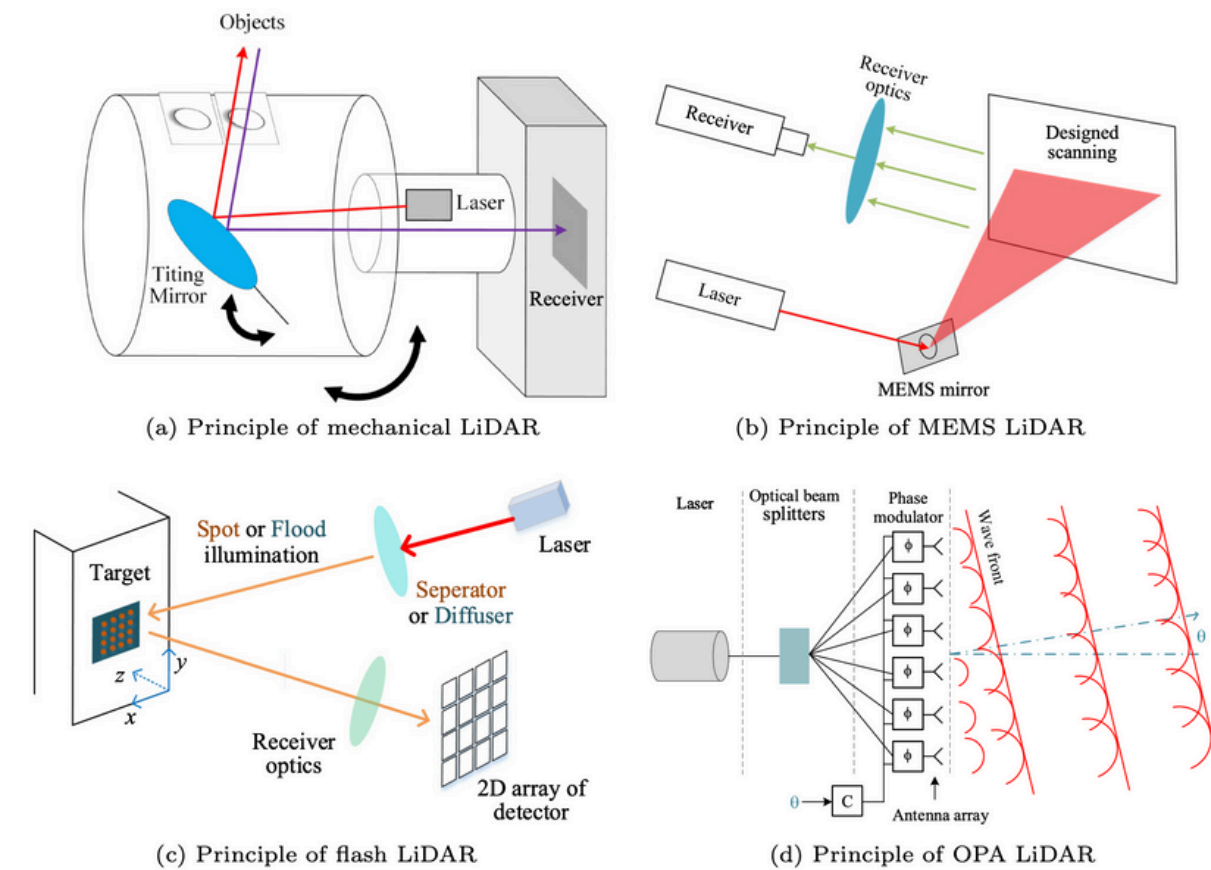
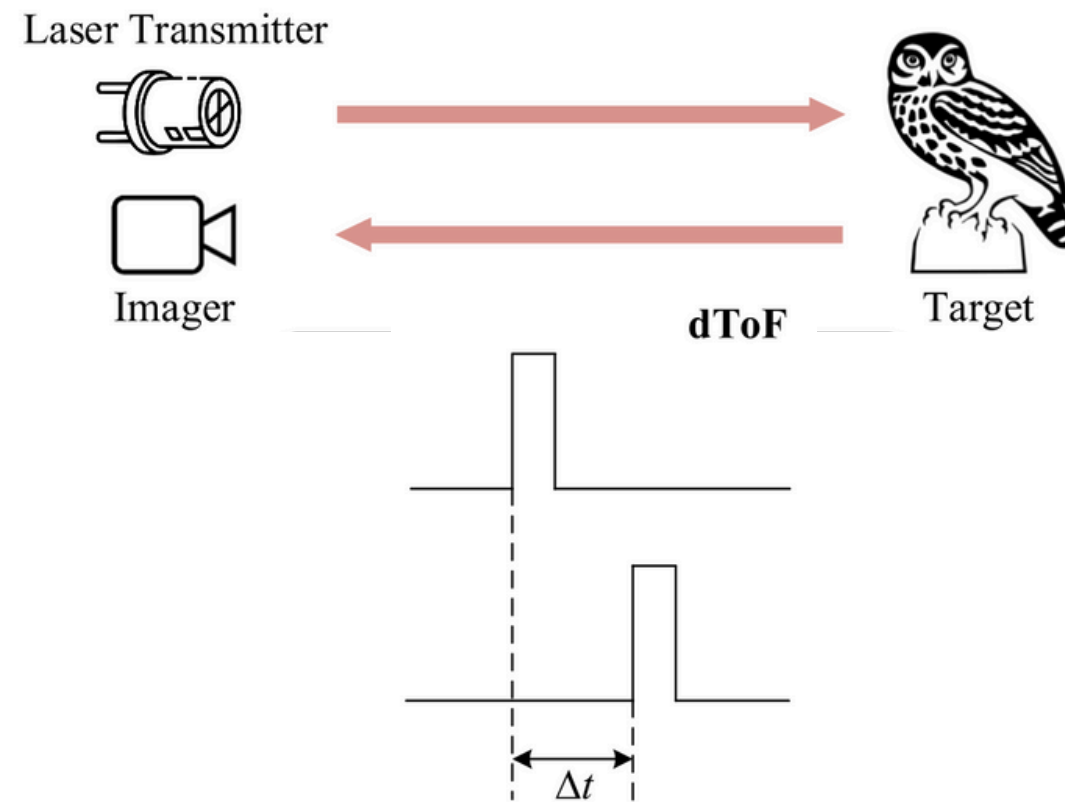
- laser light가 발사되는 순간, receiver의 전자 시계가 작동되어 시간을 측정한다.
- 발사된 pulse는 target에 반사되어 photodetector에 의해 부분적으로 수집된다.
- 대표적으로 LiDAR가 있다.

d : 방출기 및 수신기로 부터 target까지의 거리

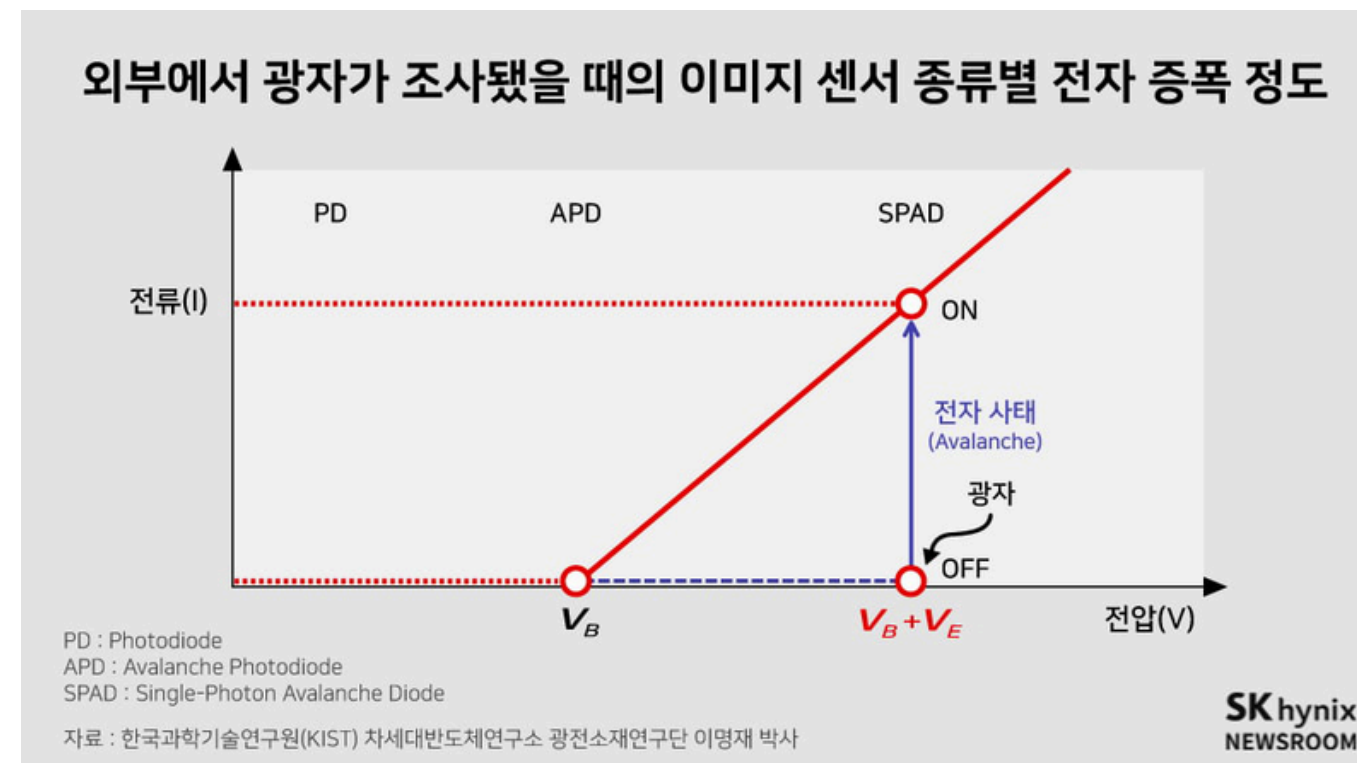
c : 빛의 속도, $c \approx 3 \times 10^8 \text{m/s}$

ΔT : 시간 변화량 (방출부터 수신시작까지의)

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

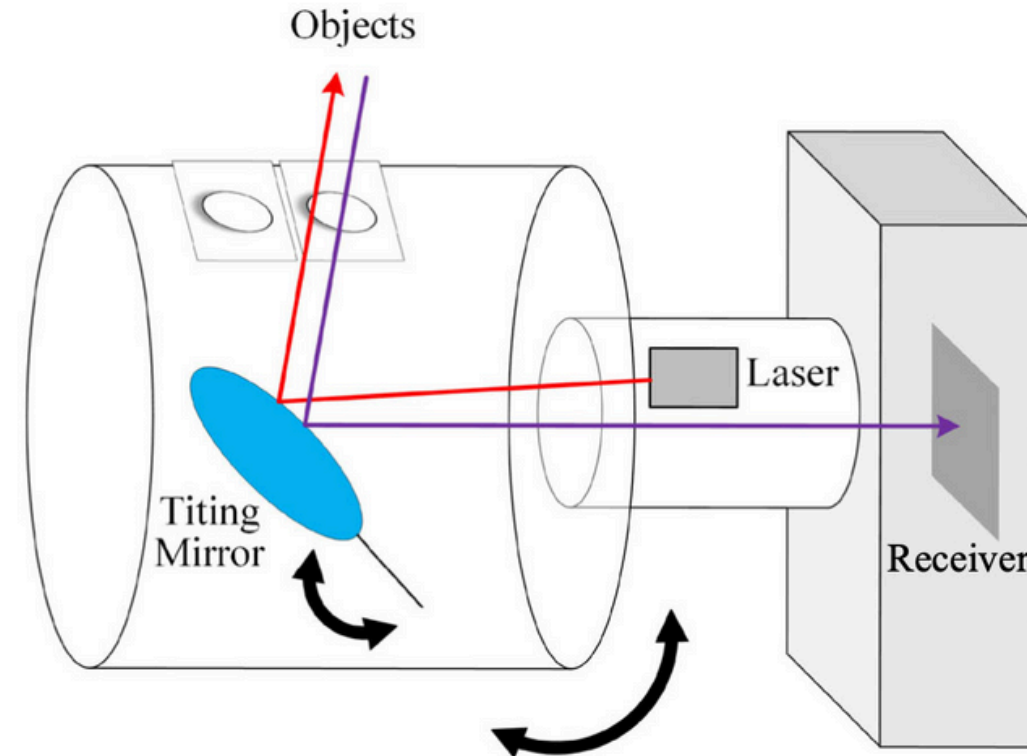


- Single Photon Avalanche Diodes(SPAD)
 - 최근에는 dToF 센서에서 photodetector로 SPAD를 사용한다.
 - 외부에서 SPAD로 photon이 조사되면 SPAD의 항복전압보다 높은 전압이 걸리게 되고, 이에 따라 자유전자가 급증하게 된다.
 - mm ~ cm 범위에서도 높은 심도 분해능을 갖고 있다.
- 심도 분해능 : 아주 밀접한 차이로 서로 떨어져 있는 두 물체를 구별할 수 있는 능력



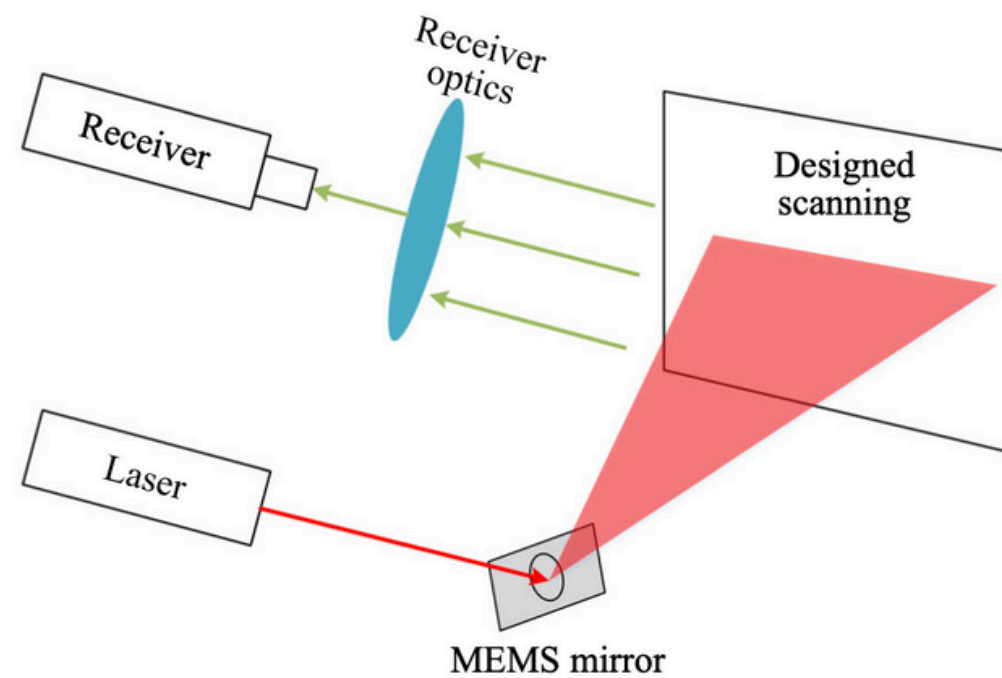
Sparse Depth

- 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.



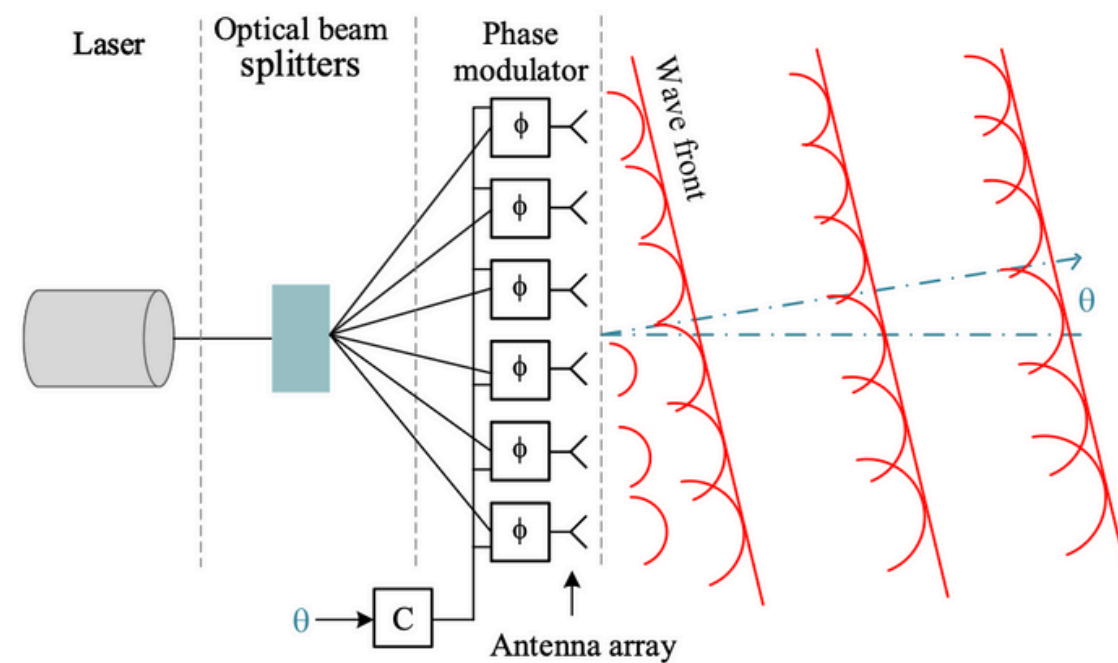
(a) Principle of mechanical LiDAR

- 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

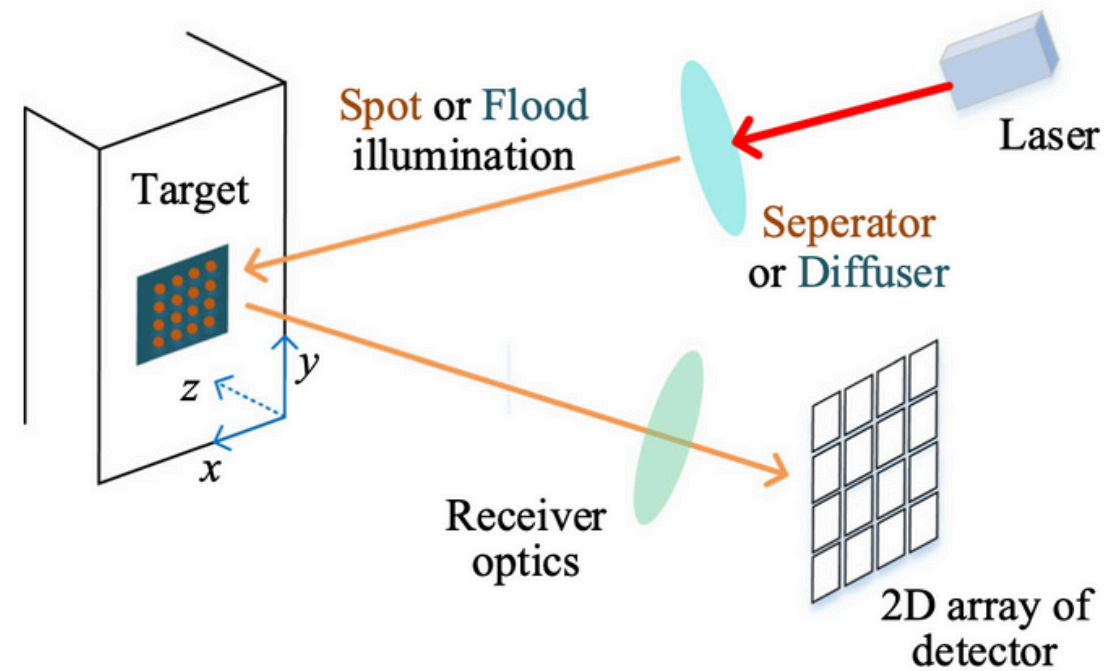
- Optical Phased Arrays(OPAs)가 전기적으로 laser에서 방출되는 pulse를 Antenna array를 통해 제어하여 phase 차이로 인한 빛이 특정 방향으로 간섭을 만들어 beam의 방향을 조향한다.
- 아직 개발중인 기술이다.
- 더 작고 가볍고, 기계적 회전 없이 방향을 조절한다는 장점이 있다.



(d) Principle of OPA LiDAR

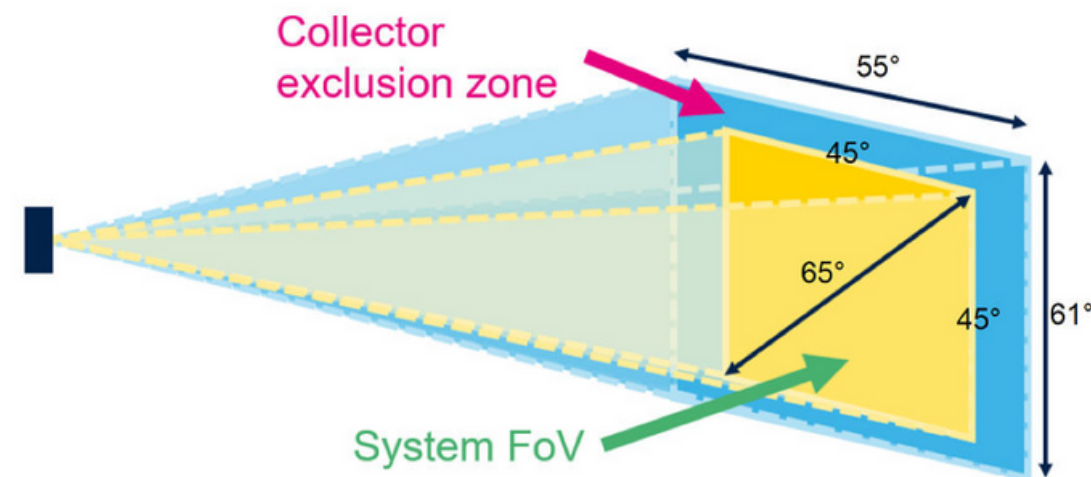
Low-Resolution Depth

- 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



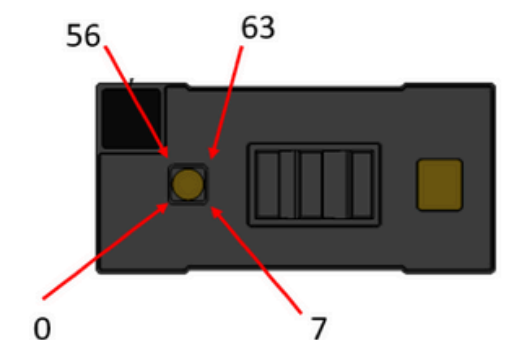
(c) Principle of flash LiDAR

- 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.



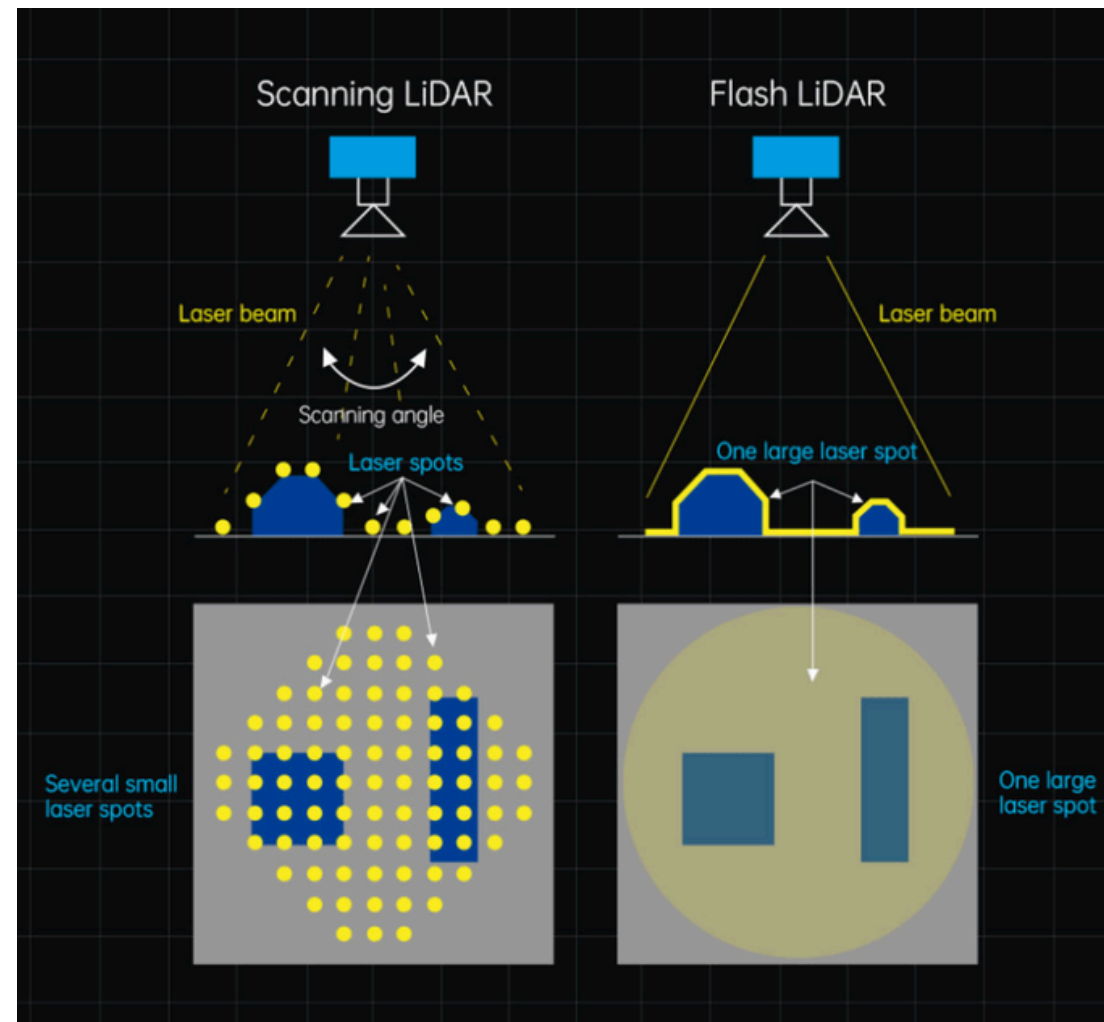
| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 |
| 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 |
| 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

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

Phone: (+82) 10-7317-2709

