3D Time Of Flight Camera의 적절한 사용법과 그 한계
Proper usage and limitation of 3D Time of flight Camera

*이민구[1], #김재완[1], 조성은[1]
*M. G. Lee[1], #J. W. Kim(jaewan@kriss.re.kr)[1], S.E.Jo[1]
[1]한국표준과학연구원

Key words : 3D Camera, Time of flight, Laser RADAR, LIDAR, Laser Range Finder, 3D Depth Image

1. 서론

1800년대 Fizeau의 회전 물림기어를 이용한 빛의 속도 측정에서부터 2013년 현재 화성에서 활동중인 화성탐사로봇 큐리오시티 까지 시간비행(Time of flight)의 원리를 이용한 다양한 거리측정 관련 기술은 과학기술의 획기적인 발전에 일조를 해왔다. 이 원리는 박쥐나 돌고래의 초음파의 송수신을 이용하여 먹이를 찾아 검출하고, 추적하는 것과 동일하며 초고주파를 이용하는 레이다(RAdio Detection And Ranging)의 기본원리와도 일맥상통한다.

광학적인 비 접촉 3D 측정 방식에는 삼각측량 방식에 기초한 Stereo 방식, 빛의 간섭특성을 이용한 광학적 간섭계 방식, 그리고 마지막으로 이 논문에서 주로 다룰 시간비행(Time of Flight) 방식이 있다.

기존의 Stereo 방식의 가장 큰 단점은 두 BaseLine 즉 2D CCD카메라의 위치 고정에 따른 제한점 및 외부 광원에 취약점이 있으며, 간섭계의 경우 고정밀 파장의 고가의 광원의 필요성 및 광학정렬이 어려운 점이 있다. 하지만 시간비행 3D 카메라는 위 두 방식의 단점을 극복할 수 있으며, 광원의 진폭변조 연속파(Amplitude Modulation Continuous Wave) 또는 강한 광학 Pulse를 조사하고 Scattering 되어 돌아오는 광 신호를 위상 또는 절대 시간을 측정하여 거리를 측정하는 방법이다. 주로 3D 시간비행 카메라는 AMCW 방식을 이용하며 변조 주파수에 해당하는 수 MHz의 고속 Frame Rate 획득이 이론적으로 가능하며 저 전력 시스템의 구현이 쉽다. 최종 출력 데이터는 2D Intensity 이미지와 3D Depth 이미지의 동시 획득이 가능하다.

3D 시간비행 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) Image sensor의 해상도 는 기존 2D CMOS Image Sensor 에 비해 QVGA(320 x 240)의 해상도로 낮지만 머지않은 미래에 고해상도 집적화가 가능하리라 생각된다.

현재 3D 시간비행 카메라관련 기술은 빠른 발전을 이루고 있으며, 무궁한 잠재력을 가진 기술이다. 이는 근세기 전자회로, 마이크로 옵틱, 다양한 광원등의 발달에 따른 덕분이며 미래가 밝은 블루오션 기술이다.

이 논문은 최신 3D 시간비행 카메라의 중요파라미터와 문제점을 살펴봄으로써 우리가 응용해야 할 분야에 적합한지 판단해 보는 좋은 지표를 제공하는 것에 목적이 있으며 다양한 센서와의 융합, 거리 데이터 보정을 통해 높은 분해능과 정확도를 갖는 3D 이미지 획득 할 수 있는 방법을 강구해 보도록 한다.

Fig. 1 A variety of 3D Time of Flight Camera

2. 3D 시간비행 카메라의 Key Parameters

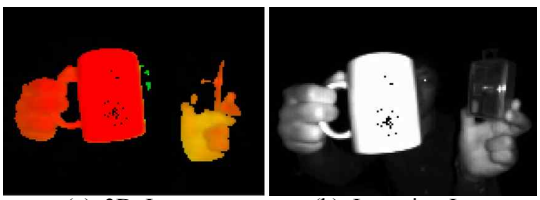
아래 Table1은 현재 3D 시간비행 카메라 중 시장 경쟁력을 갖춘 제품의 성능에 따른 분류표이다. 주황색 박스는 각 Parameter 별로 경쟁사 대비 가장 우수한 경쟁력을 보유한 내용이며, Field of view Parameter의 경우 광학계(Lens, Diffractive optics)등에 의존하므로 생략하였다.

Table 1 Key parameters of 3D TOF Camera

제조사	Microsoft	PMD Tech	SoftKinect
모델	Kinect	CamBoard Nano	DS311
사이즈(mm³)	300x7.5x6.25	37x30x25	290x180x100
최대 소비전력(Watt)	12	2.5	10
측정거리/정확성(m/cm)	5/7	2/0.5	4.5/2
속도(fps)	30	60	90
해상도	VGA (640 x480)	QQVGA (160x120)	QVGA (320x240)
탑재 센서	음성, RGB, Depth, Tilt 상태 LED	Depth, Intensity	음성, RGB, Depth
가격	150 $	600 $	300 $

2. Difference of reflectance

물체의 반사도 또는 투명도의 차이에 의해서 거리 정보가 왜곡되는 현상이 발생한다. 아래 Fig2는 PMD사의 CamBoard Nano로 측정한 영상이며 실제 오른쪽 투명한 물체의 경우 3D Image에서 왜곡된 정보를 볼 수 있다. 해결책으로는 광 노출 시간의 조절과 각 반사도 및 투명도에 따른 Curve Fitting관련 보상알고리즘이 필요하다.

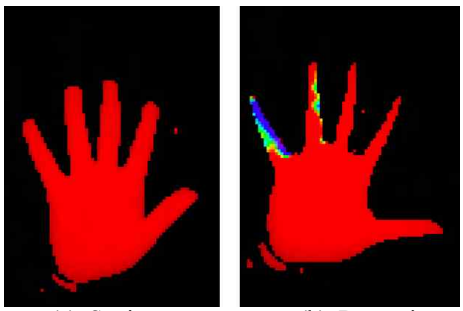


(a) 3D Image (b) Intensity Image

Fig. 2 Two objects with different reflectance

3. Motion Blurring

3D Image를 얻기 위한 Integration Time의 제한과 측정하고자 하는 물체의 빠른 움직임 때문에 3D 데이터의 왜곡이 발생한다. 평행 축으로의 빠른 움직임은 Fig.3 과 같이 거리의 왜곡된 데이터를 발생시키며 이는 3차원 이미지로 보았을 때 에러를 발생시킨다. 이를 해결하기 위한 방법으로는 기존의 2D Image의 Edge검출 이미지와의 병합을 통해 보상하는 방법과, 손의 움직임의 속도 측정을 통한 Weighted Factor의 보상을 통해서 보정하는 방법 등이 있다.



(a) Static (b) Dynamic

Fig. 3 Motion Blurring Effect

5. 결론

3D 시간비행 카메라는 무궁무진한 발전 가능성을 가지고 있다. 무인 자동차, 이동형 로봇, 모션 분석, 보안 시스템, 상품 분류 시스템 등등의 임의의 물체에 대한 3D Image를 측정하여 검출, 분석, 분류를 하는 다양한 응용하는 분야에 이용될 수 있다. 기존의 Stereo 방식의 3D 카메라(낮은 3D Image Frame), Microsoft 의 Kinect (실내 사용 제한)의 한계점을 극복할 수 있는 해결방안이며 미래 창조 경제를 위한 산업, 연구, 국방 분야에 많은 기여를 할 것이라 예상된다. 그러하기 위하여, 3D 시간비행 카메라의 기본 원리 및 중요 Parameter, 장단점 및 한계점을 잘 이해하고, 다양한 센서와의 융합을 통해 보완한다면 많은 가치창출을 이루어 낼 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

1. R. Lange, “D Time-of-Flight Distance Measurement With Custom Solid-State Image Sensors in CMOS/CCD-Technoloty,”Ph.D. dissertation, Univ. Siegen, Siegen, Germany, 2000.
2. 김종덕, 권기구, 이수인, "라이다 센서 기술 동향 및 응용", ETRI Electronics and Telecommunications Trends "
3. S. Foix, G. Alenya, and C. Torras, "Lock-in time-of-flight (tof) cameras: A survey," Sensors Journal, IEEE, 2011.
4. T. Ringbeck, B. Hagebeuker, " A 3D Time Of Flight camera for object detection.", Optical 3-D Measurement Techniques 09-12.07.2007