

머신비전 카메라의 특성과 동향

I. 서론

영상처리를 통해 특정한 결론을 얻어내는 비전(Vision)이 어려운 이유 중 하나는 기술의 융합성으로 제대로 수행하려면 조명 및 렌즈의 광학과 물리, 카메라의 전기전자, 케이블 임피던스 매칭과 같은 재료 및 전자파, 모터 및 주변 장치 연계와 같은 제어 및 전력전자, 화상처리 알고리즘과 PC 소프트웨어와 같은 다 방면의 기술을 필요로 한다. 실제 현장에서는 문제가 생겼을 때 어느 부분이 원인인지 밝혀내는 것에 상당한 시간을 소모한다.

본 기고에서 살펴보고자 하는 카메라는 영상을 취득 및 생성시키는 역할을 하는 것으로, 영상처리를 통해 특정 작업을 수행하기 위해 반드시 필요한 기본 단계이다. 학교나 연구소에서 행해지는 많은 연구들이 “레나 이미지”와 같이 이미 얻어진 영상 또는 표준 영상을 대상으로 알고리즘의 효용성을 검증 및 비교하고 있지만, 실제 현장에서는 이런 알고리즘 성능의 우수성보다, 일정한 영상이나 영상처리에 적합(가능)한 영상을 잘 획득하는 것이 목적하는 작업의 성패에 더 중요한 경우가 많다.



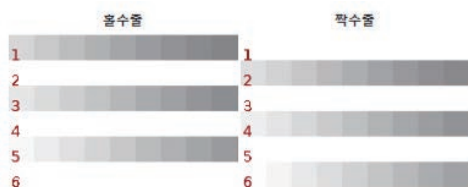


예를 들어, 하나의 대상물을 1,000번 정도 촬영하면 동일한 영상을 얻을 수 있을까? 시간의 변화에 따라 광원의 밝기나 주변 조건이 달라지는데?, 대상물의 표면이 금속 같이 전반사가 일어나는 대상물일 때는 조명 조건을 어떻게 해야 하나? 영상의 중심부와 주변부의 왜곡이나 밝기 균일도를 맞추기 위해 어떤 사양과 성능의 렌즈를 선택해야 하나? 대상물이 아주 빠른 속도로 움직일 때도 같은 위치에 올 수 있도록 촬영할 수 있을까?

본 기고에서는 산업 현장에서 이런 영상 취득을 수행하는 머신비전 카메라가 다른 일반 카메라와 다른 특성, 머신 비전 카메라의 발전 과정 및 최신 동향에 대한 필자의 견해를 정리하고자 한다.

II. 머신비전 카메라의 특성과 동향

머신비전 카메라는 맨 처음에는 일반 CCTV카메라에도 있는 다양한 외부동기 기능 중에서 트리거(Trigger) 동기 기능을 채용하면서 발전해 왔는데, 초기에는 현재와 같은 순차(Progressive) 방식보다 비월주사(Interlace Scan)를 채용했는데 아직도 일부 사용되고 있다.



이러한 머신비전 카메라의 주요 특성을 살펴보면서 최근 동향을 정리하면 다음과 같다.

- 사람이 아닌 컴퓨터를 위한 영상
- 트리거 및 전자셔터
- 텍타임과 고속 프레임
- 고해상도 및 탭 구조
- 인터페이스에 따른 분류
- 처리 기능에 따른 분류
- 센서 종류에 따른 분류

1. 촬영의 목적 (사람과 컴퓨터)

영상을 취득하기 위한 카메라는, 모든 사람들의 손에 들려진 휴대폰에도 들어가 있고, 엘리베이터나 은행에 설치된 CCTV(폐쇄회로) 카메라와 같이 우리 주변에 일상화 되어 있다. 흔히 영상을 촬영하는 카메라는 모두 같은 것으로 오해하기 쉽지만, 일반적인 카메라와 머신비전 카메라의 가장 큰 차이점은, 일반 카메라가 촬영한 것을 사람의 시각으로 보는 목적이라면 머신비전 카메라는 컴퓨터를 통한 계측 및 판단의 목적이다.

이 차이점이 사소하게 느껴질 수 있지만 실제로는 이를 구현하기 위한 구성과 노력은 많은 차이점을 가지고 있다. 사람이 보고 좋은 느낌을 가지게 하는 영상처리와 컴퓨터가 무언가를 인식하고 결정하게 하는 영상처리의 차이 보다, 이를 실현하기 위한 카메라의 역할과 구성은 훨씬 큰 차이를 가지고 있다.

일반 카메라는 사람의 시각적 특성을 고려한 Auto White Balance와 같은 광원 보정이나 Gamma 및 Knee와 같은 휘도 보정과 색보정과 같은 일반 카메라에 필수적인 기능과, 화면 밝기를 일정하게 하기 위해 Gain 및 Shutter등을 통한 노출 보정과 밝은 부분의 정보를 얻기 위한 Wide Dynamic Range와 같은 역광보정 기능, 어두운 곳을 더 잘 보기 위한 저조도 강화 등의 보조 기능과 같이, Sensor 및 렌즈의 제약을 극복하여 인간의 시각적 특성에 맞추기 위한 다양하고 오랜 연구와 성과가 ISP(Image Signal Processor)라는 신호처리 부품과 Micom을 이용한 알고리즘에 반영되어 있다.

머신비전 카메라는 인간의 시각으로 판단하는 것이 아니라 컴퓨터에게 제공하여 처리 및 가공을 통해 자동 판단하게 하는 것으로 있는 그대로를 전달하는 기본 속성을 구현하기 위해, 카메라의 내부구성이 더 단순하지만, “속도”나 “감도” 및 머신(장비나 설비)이나 컴퓨터와 연계하는 기능을 필요로 한다.

그래서 요즘은 컬러(Color)를 기본으로 하는 일반 카메라와 달리 머신비전 카메라는 여전히 흑백이 주류를 이루고 있으며, 많은 정보를 담기 위한 Dynamic Range 성능보다는 구별하기 위한 Contrast 강화 및 Gamma 1 (Linear) 을 주로 채택한다.

2. 트리거(Trigger) 및 전자셔터

우리가 원하는 순간에 사진을 찍을 수 있는 휴대폰처럼 머신비전 카메라는 원하는 순간에 사진을 찍을 수 있는 외부 동기인 트리거를 전기적으로 구현하여 사람의 손보다는 훨씬 더 정밀하게 고속으로 촬영하여 아주 빠른 속도로 움직이는 물체도 잡아 낼 수 있는 기능을 가진다. 외부의 모터 엔코더나 주변 IO와 연계하여 특정 순간을 포착하는 이러한 트리거 기능은 머신비전 카메라의 필수 기능이라 할 수 있다.

이와 같이 트리거가 들어오는 순간부터 노광을 시작하여 원하는 시간(Shutter Time) 또는 외부 트리거 펄스의 Active 구간(Pulse Width)동안 노광을 하여 영상을 획득한다. 노광시간을 결정하는 인자는 전자 셔터의 시간(Shutter Time)이라 할 수 있는데, 머신 비전 카메라의 경우 대개 1/10,000 ~ 1/100,000 sec 또는 그 이상의 성능을 구현한다.

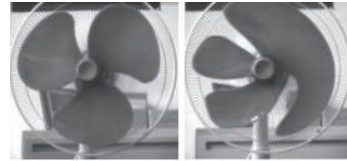
1) 글로벌 셔터 (Global Shutter)

가장 일반적인 전자 셔터로 이동 중인 물체를 순간 정지시킨 듯한 영상을 얻을 수 있는 기능이다. 거의 모든 머신비전 영역에서 반드시 필요한 기능으로, 센서(Sensor)인 촬상 소자는 크게 CCD 및 CMOS 두 종류가 있는데, 예전에는 CCD만 구현하는 기능으로, CCD가 CMOS를 제치고 머신비전 영역에 주로 사용하게 된 주요 원인이 되었다.

이 후에 CMOS는 쉬운 제조공정을 무기로 끊임없는 연구개발을 통해 5T(Transistor가 5개) 구조에서 이를 구현하여, 최근에는 오히려 CMOS가 고속성을 강점으로 하여 CCD를 제치고 머신비전 영역에서 더 많이 사용되는 실정이다.

2) Rolling Shutter

4T 이하의 CMOS Sensor에서 볼 수 있는 기능으로 물체의 이동 상태가 Data를 읽어내는 순간에도 반영된다. 주로 일반 카메라에서 사용되는 소자로서 머신비전 영역에서는 고정된 대상물의 검사에만 사용 가능하지만 상대적으로 감도가 좋은 편이다.



〈그림 1〉 회전 물체의 글로벌 셔터(좌)와 Rolling Shutter(우)

3. 택타임(Tack Time)과 고속 프레임

장비나 설비에서 가장 중요한 경쟁력은 바로 처리속도이다. 흔히 “택타임”이라는 이 수치는 부품 1개당 전체 처리시간을 말하는 것으로 이것이 작을수록 단위시간 당 더 많은 수량의 품목을 검사 또는 생산할 수 있어, 공간 제약성이 심한 머신비전 분야에서 제일 중요한 “성능지표”이다.

쉽게 예측할 수 있듯이 2배 빠른 택타임을 가지는 장비는 2배의 생산력으로 공간 비용을 고려하면 2배 이상의 값어치를 해 내는데, 다른 여러 수단을 통해 이러한 택타임을 줄일 수 있지만, 카메라가 영상 1장을 읽어내는데 걸리는 시간의 역수인 초당 프레임(Frame)수가 그 한계치를 결정한다.

그래서 예전부터 머신비전 카메라는 일반 카메라보다 2배 이상의 프레임수를 구현하였다. 재미난 사실은, 초기 머신비전 카메라가 일반 카메라에 사용되는 센서를 그대로 사용하면서도, 센서로부터 데이터를 읽어내는 구동회로(Timming Generator)를 별도로 설계하여 읽어 내는 속도를 2배 이상으로 구현했는데 이는 센서 제조업체가 보증하지 않는 사용 조건이었다. 최근에는 일반 카메라의 2배 정도가 아니라 거의 100배에 가까운 고속성을 구현해 낸다.

4. 고해상도 및 탭 구조

일반 카메라 중에서 80만 화소의 CCTV와 같은 비교적 저해상도나 TV의 2Mega 급과 같은 중해상도, 그리고 비교적 최근 휴대폰에 사용되는 10Mega급의 고해상도도 나눌 수 있지만, 머신비전용 카메라는 오래전부터 일반 카메라와 대비하여 고해상도를 추구하고 왔다.

5Mega급 정도를 중해상도라 할 수 있고, 세로 x 가로가 5K x 5K의 25Mega 급의 고해상도에서 최근에는

100Mega급 가까이 출시되고 있다.

일반 카메라에 비해 머신비전 카메라는 이러한 고해상도에도 불구하고 고속성을 유지하여 25Mega급에서도 60프레임 가까운 성능을 가지므로 한 화소 당 시간은 일반 카메라와 비교가 불가능할 정도로 고속이다. 이러한 고속의 구현이 가능한 이유는 멀티 탭(Tap) 구조 때문인데, 센서로부터 한 순간에 하나의 데이터만 읽어 내는 것이 아니라 2개를 동시에 읽어 내면 2탭 구조로, 16개 이상을 읽어 내는 멀티 탭 센서도 있다.

대체적으로 1.3Mega 이하의 저해상도에서 5Mega 이상의 중, 고 해상도로 시장이 옮겨가고 있다.

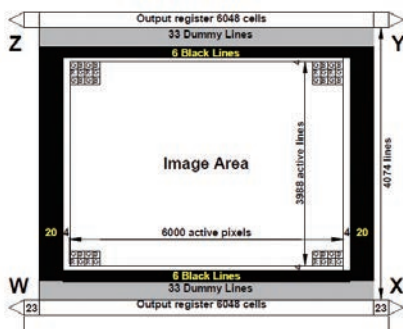
다음은 4개의 출구(X,Y,Z,W)에서 동시에 데이터를 읽어 내는 4탭 구조의 센서이다.

5. 인터페이스에 따른 분류

머신비전 카메라의 궁극적인 목표는 영상처리를 위해 데이터를 컴퓨터로 전달하는 것인데, 앞서 살펴본 고속 및 고해상도로 인하여 오래전부터 다양한 고성능의 인터페이스를 가지고 있다

1) 아날로그 (Analog)

일반적인 CCTV 카메라와 같은 방식으로 영상신호 0.7V 및 동기신호 0.3V로 전체 1V의 아날로그 신호로 전송하는 방식으로 아직도 상당히 많이 사용되고 있는 방식이다. 작은 크기와 전송 비용의 경제성이 뛰어나지만 외부 노이즈의 영향이 영상에 그대로 나타나고 컴퓨터에 프레임그래버(Frame Grabber)를 필요로 하는 단점이 있지만, 저 해상도에 여러 대의 카메라를 사용해야 하는



〈그림 2〉 4탭 구조의 센서

경우에는 여전히 가장 적합하고 경제적인 방식이다.

아날로그 카메라가 노이즈를 많이 발생시키는 게 아니라 주변 노이즈에 대한 내성이 약한 편이고, 사실 장비를 잘 만들 경우 문제가 되지 않는다. 케이블 및 전송에 의해 화면에 표시했을 때 윤곽이 약해져 보이는데 안정적인 영상처리를 위해 Low Pass Filtering을 하는 것을 생각하면 뚜렷해 보이는 디지털 방식이 꼭 좋은 면만 있다고 생각되지는 않는다.

2) 디지털 카메라

아날로그 신호가 아닌 디지털 신호로 전송하는 방식으로 노이즈에 강한 특성이 있지만 가격이 비싸지는 단점이 있다.

가) CL (Camera Link) 방식

아주 예전에는 병렬방식의 EIA-644(LVDS 방식) 제품이 있었지만 거의 단종 되고, 현재는 시리얼 (Serial) 방식의 CL이 있다. 350mV 정도의 LVDS(Low Voltage Differential Signal)신호 규격으로 북미 캐나다 소재의 기업인 DALSA와 같은 여러 기업 주도로 설립된 규정으로, 아날로그 신호의 단점을 극복하고자 다수의 카메라 및 프레임그래버 회사가 이를 지원하여 산업계의 디지털 표준으로 튼튼히 자리를 잡았다. 2개의 커넥터를 사용하여 6GHz 정도의 속도로 고속과 저노이즈 및 신뢰성을 중시하는 장비에 아주 널리 사용되고 있으며, 디지털 방식이지만 컴퓨터에 프레임그래버를 필요로 한다.

나) IEEE1394 (Firewire)

경우에 따라 별도의 프레임그래버를 사용하지 않아도 되는 첫 제품으로 한 때는 시장의 큰 주류였으나, 애플 등의 로열티 문제로 인텔 ChipSet 및 Windows의 기본 지원 모드에서 빠지면서 부터인가 세력이 약해졌다. 신뢰성 및 실시간성을 무기로 a 규격은 400Mbps, b 규격은 800Mbps까지 지원하여 초기에는 고성능으로 급속히 시장을 넓혀 갔지만, 이후 Windows 지원 문제와 카메라의 급격한 고속 및 고해상도를 제대로 따라가지 못한 면이 있다.



다) USB

IEEE1394와 같은 디지털 방식으로, 사실 IEEE1394대 비 단점이 많은 편이지만 프레임그래버를 필요로 없다는 낮은 가격의 장점과 Windows의 지원으로 비 산업계 만큼은 아니지만 시장을 넓혀 왔다. 하지만 5M 미만의 적은 전송거리와 낮은 내 노이즈성으로 움직임이 있는 장비에서는 사용이 제한적이었지만, 480Mbps의 USB2.0에서 최근에는 5Gbps의 USB3.0과 10Gbps의 USB3.1의 현저히 낮은 가격과 및 속도를 강점으로 산업용 시장에도 지속적인 제품을 출시하고 있다. 거리와 내 노이즈의 단점으로 기동성 장비에는 제약이 있지만 안정적 환경의 장비에서는 선호될 것으로 보인다.

라) GigE (GigaBit Ethernet)

1Gbps의 고속 성능도 장점이지만, 1V 신호의 강한 내 노이즈성과 낮은 케이블 가격 및 100Meter 장거리 전송 능력으로 인해, 높은 가격의 프레임그래버를 사용하지 않고자 하는 산업용 시장에서 GigVision 및 GeniCam등의 소프트웨어 프로토콜과 함께 사실상의 표준으로 자리 잡았다. 특히 아직 간헐적인 링크 끊김의 이슈가 남아 있지만 저화소의 아날로그 카메라를 급속히 대체하고 있다.

GigE 카메라는 마이크로프로세서를 활용한 일반 Gigabit Ethernet 통신과는 다르게 FPGA 기반으로 실시간성을 구현하고 GeniCam등의 통신 규약을 준수하면서 유효 영상데이터 800Mbps이상의 고성능을 구현한다.

속도와 안정성 및 여러 대의 카메라를 지원하기 위해 내장 GigE Port가 아닌 별도의 카드를 사용하기도 하고, 전원과 함께 전송하는 PoE (Power of Ethernet)을 사용하기 하지만, 앞서 말한 링크 끊김이나 전송 프레임 손실을 줄이거나 없애기 위한 컴퓨터와 네트워크 카드의 선정 및 소프트웨어 안정성이 매우 중요하다.

마) CoaXpress

1개의 커넥터로 커넥터를 2개 가진 CL과 비슷한 속도이지만, 작은 커넥터 사이즈로 확장이 용이하고 (4개 사용시 24Gbps) 낮은 케이블 비용으로 일본을 중심으로

표준화를 추진하고 있지만 아직 카메라나 지원하는 업체가 많지는 않은 편이다.

이밖에도 라인카메라에 사용되는 DALSA사의 HSLink 같은 방식등도 있지만 폭넓은 표준으로 자리 잡지는 못한 실정이다.

6. 처리 기능에 따른 분류

가) 일반 카메라

앞서 소개한 인터페이스 방식의 카메라 대부분이 영상을 생성하여 이를 컴퓨터에 전달하기만 하고, 영상처리는 컴퓨터에서 이루어지는 방식의 카메라이다.

나) 스마트(Smart) 카메라

내부에 처리기능을 내장한 카메라로 임베디드 및 DSP 기반과 Windows 및 Linux가 내장되는 사실상 PC급으로 나눌 수 있다.

전자는 낮은 가격과 작은 사이즈를 장점으로 하지만 범용성이 낮아 바코드 인식 같은 특수 목적으로 주로 사용되고, 후자는 고가이거나 부피가 크지만 프로그램이 편하고 범용성이 뛰어나다.

스마트 카메라는 렌즈나 조명을 일체화 하기도 하고 Cognex나 Matrox Imaging 등은 자사의 프로그래밍 패키지 내장하기도 하는데, 사실 이 제품은 가격이 높은 편이지만 종래의 비전 수요자가 문제 발생 시 어느 부분이 잘못 되었는지? 누구를 불러야 하는지? 에 대한 고민을 들어주고 공급자도 하나의 제품을 고가에 판매할 수 있는 장점을 가지고 있어, 세계 시장에서는 일반 카메라를 다 합친 것과 비슷한 규모를 가지고 있지만 한 장비에 여러 대의 카메라를 사용하거나 고속, 고해상도의 디스플레이 및 반도체 중심의 국내 시장에는 높은 대당 가격으로 시장이 다소 제한적인 면이 있다.

다) 비전 (Vision) 센서

일반 카메라와 스마트 카메라를 절충한 형태로 범용적 영상처리 보다는 카메라 내부의 FPGA 로직을 활용해 간단하거나 특정한 영상처리를 실시간으로 수행하는 특정 영상 처리 내장형 카메라라 할 수 있다. 시장 규모는 그다



지 크지 않지만 작은 크기와 실시간 처리 성능을 무기로 다양한 응용처에 적용되고 있다.

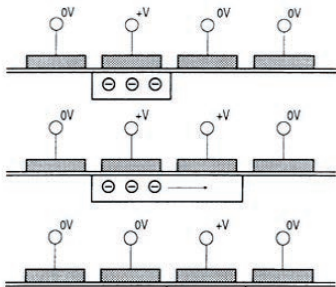
7. 센서 종류에 따른 분류

센서에는 CCD와 CMOS가 있는데, 모두 빛을 전기로 바꾸는 광전변환 소자로 기본 셀은 Photo Diode로 동일하다.

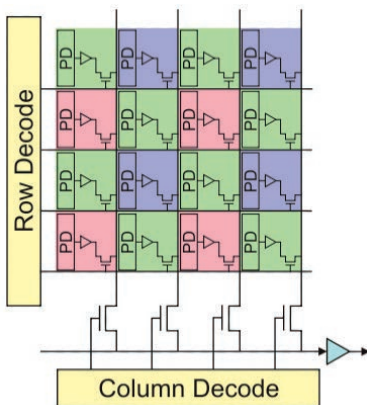
가) CCD 센서

앞서 언급했듯이 글로벌 셔터와 고감도 및 저노이즈를 무기로 오랜 동안 머신비전 카메라용 센서의 주류를 이루어 왔다. CCD는 광전 변환으로 발생된 전하를 이동(Move)시키는 구조로 제조공정은 복잡하고 어렵지만 효율이 좋은 편이다. 화질에 가장 큰 영향을 미치는 요소가 센서의 감도인데 CCD의 고감도 특성으로 인해 화질이 낮은 CMOS에 대비해 고가의 고급 기종에 사용되었다.

또한 출력 구조가 단일 구조라 고정된 패턴 노이즈가



<그림 3> 전하의 이동(MOVE)



<그림 4> CMOS의 구조

적지만, 이동 중에 발생하는 과 포화된 빛의 끌림 자국인 스미어(Smear) 현상으로 전구나 밝은 금속을 보는 교통용 카메라에는 적합하지 않다.

전하를 이동시키는 기본구조로 이동 중에 손실이 발생하기 쉬워 속도의 제약이 있어 최근 머신비전 카메라에서 주류 자리를 잃어 가고 있다.

나) CMOS 센서

실상은 CMOS 센서가 먼저 발명 되었지만 노이즈가 심해 오랫동안 CCD에 주류의 자리를 빼앗겼다.

CMOS 센서는 광전 변환된 전하를 읽어내는(Read)하는 구조로 마치 메모리를 읽어 내는 것과 같아 고속 구현이 용이하다.

제조공정도 메모리와 유사하게 쉽고 저렴하여 활발한 연구가 가능해져 비교적 최근에 글로벌 셔터를 구현했고, 다양한 기술의 발달로 노이즈를 줄이면서 고속을 무기로 시장의 주류로 부상했다.

한때 CCD 제조사로 유명한 일본의 소니(SONY)사는 저급한 화질의 CMOS는 만들지 않고 CCD에만 전념하겠다고 했으나 몇 년 전부터 오히려 CMOS에 주력하면서 이제는 더 이상 CCD는 개발하지 않고 점차 단종 시키려 하고 있는 실정이다. 소니사는 이전의 CMOSIS사 등이 선점하고 있던 머신비전 분야의 센서 시장에서, 작은 화소 크기에 비하여 높은 감도와 렌즈 선정의 유리함을 장점으로 추격 중이다.

이 밖에도 한 줄을 고속으로 읽어 내는 라인(Line)카메라와 2차원의 영역을 읽어 내는 Area 카메라도 있지만, 라인 카메라는 특수한 영역에만 제한적으로 사용되어 자세한 언급과 비교는 생략하지만, 일반적인 예측과 달리 2차원의 Area 카메라보다 1차원의 라인카메라가 훨씬 더 고가이며 고감도 및 고속성능을 자랑한다.

참고 문헌

[1] CIS(CMOS Image Sensor) 설계, 김동수(연세대), 2007년, 한양대학교 반도체 설계 교육 지역센터
 [2] CCD카메라와 영상처리회로설계, 박선호, 2002년, 국제테크노정보연구소



[3] 머신비전응용, 변종은 외, 2001년, 넥스트아이/삼성전자

[4] Digital Image Processing, Rafael C. Gonzalez, Prentice Hall



황준현

- 1991년 2월 서울대학원 제어계측 공학과 석사
- 1989년 2월 서울대학교 제어계측 공학과 학사
- 2009년 9월~현재 (주)크래비스 대표이사/연구소장
- 2000년 6월~2009년 9월 (주)크래비스 연구소장
- 1991년 1월~2000년 6월 (주)삼성테크윈 개발 과장
- 1985년~1989년 제어계측공학 학사에서 전기전자 학부 전공
- 1989년~1991년 의공학교실에서 의료용 영상처리 전공
- 1991년~1993년 삼성테크윈에서 머신비전시스템 개발 및 적용
- 1993년~2000년 삼성테크윈에서 디지털 CCTV 카메라 상품화 개발
- 2000년~2009년 (주)크래비스에서 영상기기 및 머신비전카메라 개발
- 2009년~현재 (주)크래비스에서 산업용 특수카메라 및 비전시스템 개발

<관심분야>

카메라, 머신비전, 딥러닝, 산업용 제어