



컬러 라인스캔 카메라 기술 동향

바야흐로 컬러의 시대다. 초고화질 TV를 넘어 3D 기술, OLED 등 첨단기술이 난무하는 시대에 꽤나 뜬금없는 말이겠지만, 실제로 산업용 표면검사 장치에서의 최근 트렌드를 일견하기에는 충분한 표현일지도 모른다. 하긴, DVR(Digital Video Recorder) 및 DVM(Digital Video Manager)과 같은 산업용 CCTV 장비나 Matrix Type의 CCD(Charge-Coupled Device) 혹은 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor) 이미지센서를 사용하는 Machine Vision의 영역에서는 컬러 카메라의 도입이 그리 새로운 일은 아니다.

하지만 라인스캔(Linescan) 카메라의 경우는 다르다. 라인스캔 카메라의 경우, CCTV나 Matrix Frame Camera처럼 Batch식 연산을 하지 않는다. CCD 혹은 CMOS 소자가 일렬로만 배열된 상태에서 피사체의 이동 속도에 맞춰 촬영이 연속적으로 끊임없이 이루어진다. CCD가 가로로만 집중적으로 배열되므로 초고화질을 구현할 수 있고, 스캔 속도 또한 대단히 빠르다. 게다가 카메라를 일렬로 배열하면 제품이 얼마나 큰가에 상관없이 제품 전체에 대한 측정이 가능하게끔 할 수 있다는 장점이 있어 최근의 카메라 기반의 표면검사 장치는 Matrix Frame Camera 기반에서 라인스캔 쪽으로 급격히 이동해왔다. 제지, 철강, 필름, 반도체, 소재화학산업 등에서 라인스캔 기반의 표면검사 장치의 도약은 눈부실 정도다.

이런 환경에서, 컬러 라인스캔 카메라의 요구는 당연히 있어 왔고, 기술적으로 이것이 불가능한 것도 아니었지만, 생각보다 컬러 라인스캔 카메라의 도입은 늦어졌다. 가장 큰 이유 중 하나는 데이터 처리의 문제였다. 기존의 모노그

한 호 윤 대표
브이앤씨솔루션즈
hy.han@vncsolutions.net



(그림 1. 카메라 링크 인터페이스 로고들, 왼쪽부터 GigE, CameraLink, HSLink)

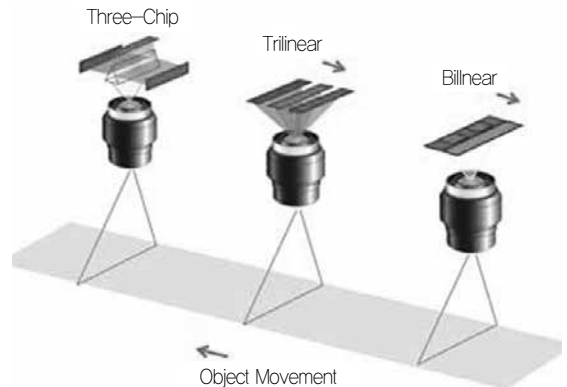
램 방식에서는 CCD 혹은 CMOS 칩셋이 받아들인 빛의 양에 따라 정량적으로 축적된 전하량을 픽셀 당 12bit 정도의 분해능으로 전달했기 때문에 고속 스캔이 가능했고, 이를 전달하는데 GigE 방식(80MB/s) 혹은 Base Type CameraLink(255MB/s)를 사용해왔다. 하지만 컬러 카메라의 경우는 기본적으로 데이터가 R(Red), G(Green), B(Blue)로 나뉘게 되어 최소한 3배 증가하게 된다. 기존의 인터페이스로는 스캔 속도가 급격히 저하되어 고속 환경에서 사용이 어려워지는 문제가 발생하였다. 하지만 최근의 고속스캔 카메라 혹은 컬러 라인스캔 카메라는 Full Type CameraLink(680MB/s) 혹은 HSLink(6000MB/s)를 인터페이스로 사용하고 있어 속도 문제를 해결하였다.

다음으로 이러한 속도를 살리기 위해서는 CCD 혹은 CMOS 칩셋을 특별하게 배열해야 할 필요가 있었다. 실리콘 이미지센서는 자체적으로 파장을 구별할 수는 없기 때문에 이미지센서가 이를 캡처하기 전에 컬러 밴드를 분리해야 할 필요가 있었다. 이 때문에 크게 다음의 세 가지 아이디어가 등장하게 되었다.

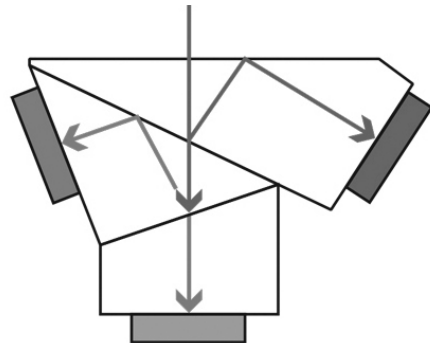
1. 3 Chip Camera(Prism-based sensor)

가장 초기 형태의 컬러 라인스캔 카메라의 형태로 프리즘과 같은 역할을 하는 분광 거울을 이용하여 R, G, B 컬러밴드를 분리해내는 기술이다. 이 기술은 동일 지

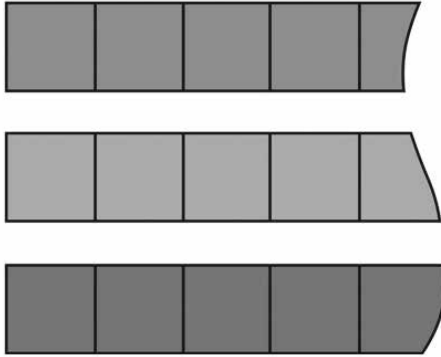
점에서 들어온 시그널을 동시에 분석할 수 있다는 장점이 있었으나 공간이 필요해서 카메라 모듈이 커질 수밖에 없었고, 특수 렌즈를 사용해야 해서 비용적으로도 고가였으며, 분광기를 사용하여 진동에 취약하다는 단점이 있어 널리 사용되지 못하였다.



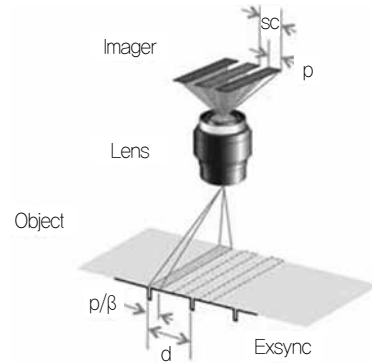
(그림 2. 컬러 라인스캔 카메라의 종류)
출처 : Teledyne DALSA 홈페이지



(그림 3. Prism Based 센서 구조) 출처 : Vision-Systems 홈페이지



(그림 4. Trilinear Sensor 구조)
출처 : Vision-Systems 홈페이지



(그림 5. Trilinear 카메라의 공간 보정)
출처 : Teledyne DALSA 홈페이지

2. Trilinear Camera

두 번째로 개발된 기술로서, CCD 혹은 CMOS 픽셀을 3열로 배열하고, 각 열에 필터를 입혀 R, G, B 컬러 밴드를 분리해내는 기술이다. 실제로 각각의 픽셀라인에 해당하는 실리콘 웨이퍼에 적색, 청색, 녹색으로 염색 혹은 코팅을 입히는 것으로 구현해내며, 3개의 픽셀라인을 배열하면서 서로 영향을 미치지 않도록 픽셀라인 사이를 떨어뜨려 격리시킨 것이 특징이다. 이는 카메라 구조를 단순화할 수 있고, 일반 렌즈를 사용할 수 있어서 대단히 안정적이고 효과적인 구조이기도 하다.

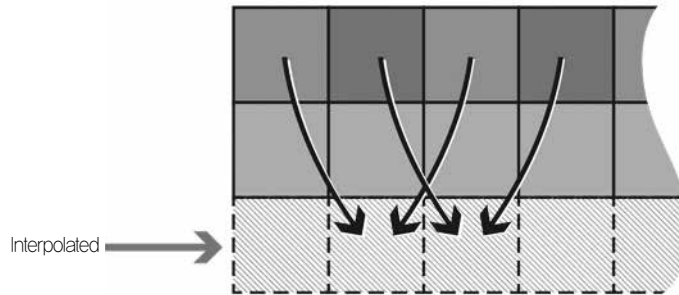
하지만 이 기술은 구조적 특성상 큰 문제가 있었는데, 결국 3개의 픽셀라인이 주시하는 공간이 서로 다르기 때문에 이를 공간적으로 보정해줘야(Spatial Correction) 하는 문제가 그것이다. 이것은 픽셀 라인 간의 공간 오차를 정밀 엔코더(Encoder)를 이용하여 제품의 이동속도와 연계하여 보정하는 방법으로 해결하였다. 또한 염색된 색상 필터를 사용하여 R, G, B 컬러 밴드를 분리하므로, 색상 필터의 염료 안정성이 문제점으로 대두되었다. 빛이나 열에 의해 필터가 변색되면 안 되기 때문에

필터의 수명이 카메라의 수명과 직결되었다. 이 때문에 Trilinear 카메라는 높은 내광성 및 열 안정성을 가진 필터를 사용하며, 현재 가장 널리 쓰이는 방식을 채택했다.

3. Bilinear Camera

Bilinear 카메라는 이름 그대로, 세 개의 픽셀라인(Tri-Linear)을 두 개의 픽셀라인(Bi-Linear)으로 줄인 카메라다. 이 카메라는 Trilinear 라인과 대단히 유사한 구조이기 때문에 많은 장점을 공유한다. 기본적인 컨셉은 픽셀 라인을 두 개로 배열하므로, 픽셀당 두 가지 원색만 촬영하고, 나머지 한 개의 색은 보간(Interpolate)하여 추정하는 것이다. Bilinear 카메라는 Trilinear 카메라보다 저렴하다는 큰 장점을 가지지만, Full Color 및 True Color를 재현해 내기에는 원천적으로 정밀도가 부족할 수밖에 없는 구조를 가진다.

마지막으로, 모든 색차계(Color Sensor)가 가지고 있는 조건등색(Metamerism)의 문제이다. Color는 외부 광원의 변화와 온도 조건 등에 따라 달라지기 때문에



(그림 6. Bilinear 이미지센서 구조, 세 번째 색상은 보간됨)
출처 : Vision-Systems 홈페이지

객관성을 담보하기 어렵다. 또한 컬러 카메라의 경우 카메라 자체가 피사체를 조사하는 각도에 따라 원근 왜곡으로 인한 색차가 발생하기도 하므로, 가급적 피사체에 수직으로 카메라를 위치해야 하는 한계도 가지고 있었다. 초점(Focus) 정도에 따라 픽셀 간에도 색차가 발생하기도 한다.

이를 해결하기 위해 라인스캔 카메라 시스템은 기본적으로 대단히 우수한 품질의 집중 광원을 사용한다. 집중 광원이란, LED와 같은 광원의 빛을 한 곳에 집중시켜 강화함으로써 다른 광원이 외란으로 개입할 수 있는 소지를 최소화할 수 있고, 라인스캔 카메라의 짧은 노출 시간에도 충분한 광량을 제공할 수 있다. 또한 다양한 방식의 색차 “보정(Correction)” 방법이 제안되었다. 예를 들어, 카메라가 수직으로 놓일 수 없는 경우, 이를 수직으로 보았을 때와 같은 값을 나타내도록 인공적인 보

정을 거치는데 이를 Artifact Correction이라고 한다. 제품의 표면이 불균일한 경우, 소프트웨어적으로 컬러만 초점을 흐리게(Defocusing)하는 것처럼 필터링 처리하여 노이즈를 없애는 보정을 사용하기도 한다.

이와 같이 과거에 컬러 라인스캔 카메라의 도입을 어렵게 했던 문제들은 다양한 방법으로 개선되고 있다. 이를 통해 알 수 있는 것은, 의심의 여지없이 향후에 컬러 라인스캔 카메라가 산업용 표면검사 장치의 주류가 되리라는 것이다. 이미 하드웨어로는 차세대 Quadlinear Camera가 개발되고 있고, 다양한 소프트웨어를 통해 정확한 True Color를 구현하고자 하는 노력이 계속되고 있다. Color Camera를 이용하여 보다 정밀하게 제품 결함을 분석하고자 하는 어플리케이션도 계속해서 개발되고 있다. 다시 한 번, 바야흐로 컬러의 시대가 아닐 수 없다.