

제약업종에서의 머신 비전 카메라의 역할

색 충실도 및 CCD/CMOS 센서에 초점을 맞춘 분석

카메라는 지금까지 제약업종에서 점점 더 중요한 역할을 수행해왔습니다. 의료기기, 실험실 자동화 또는 통제실 등, 용도에 상관 없이 거의 모든 분야에서 수 많은 일상적인 애플리케이션에 카메라는 중요한 요소입니다. 특히 현미경 검사, 안과학, 병리학, 내시경 검사, 실험실 자동화 및 생물학 연구 분야에서 그러합니다.

본 백서의 처음 부분에서는 디지털 카메라의 주요 특성들을 검토해 의료용 애플리케이션을 위한 머신 비전(MV)의 장점을 집중 조명할 것입니다. 그런 다음 색상 계산 관련 주제 및 색 충실도 개념에 대해 알아볼 것입니다. 끝으로, CCD와 CMOS 센서라는 두 가지 센서 유형의 개념, 그리고 센서 유형별 장단점에 대한 설명을 포함해 CCD에서 CMOS 센서로의 전환 추세에 대해 토론합니다.

목차:

1. 의료용 애플리케이션에 적합한 카메라 선택	1
2. 의료 관련 카메라 애플리케이션에서의 색 충실도	3
2.1 물체에서 측정값으로의 변환	3
2.2 RGB 값 계산	4
2.3 색상 보정	4
2.3.1 화이트 밸런스	4
2.3.2 매트릭스 보정	5
2.3.3 색조, 새채우레이션	5
2.3.4 6축 오퍼레이터	5
2.4 감마 보정	5
2.5 현실적인 색상 보정	6
3. CCD에서 CMOS 센서 기술로의 전환	6
3.1 두 가지 센서 기술의 차이는 무엇일까요?	6
3.2 CCD 센서 디자인	6
3.3 CMOS 센서 디자인	6
3.4 의료 및 생명 과학 애플리케이션에서의 CMOS 기술의 장점	7

1. 의료용 애플리케이션에서의 카메라 선택 기준

새로운 센서와 인터페이스 기술의 발전이 소비자 중심으로 이루어지면서 카메라가 사용된 의료용 제품 개발에도 영향을 주었습니다. 의료용 애플리케이션에 적합한 카메라를 선택하는 일은 사용 가능한 광범위한 센서와 인터페이스를 감안할 때 점점 더 어려워지고 있습니다. 많은 경우 결정할 때는 애플리케이션별 요소와 일반적인 요소들을 포함한 다양한 요소들을 고려해야 합니다. 이 때 감안해야 할 핵심 기준으로는 (1) 크기 및 폼팩터, (2) 카메라 사용 환경, (3) 카메라 센서, (4) 인터페이스, (5) 렌즈, (6) 플랫폼 기대 수명 (7) 사용자 정의 옵션 등이 포함됩니다. (1)번부터 (5)번까지는 제품별 요구 사항인 반면 (6)번과 (7)번은 카메라 제조사별로 차이가 있습니다. 본 백서에서는 의료용 애플리케이션을 위한 카메라에 대한 기본적인 기대치를 설명하고 머신 비전 카메라가 소비자용 카메라나 센서 내장 전용 제품들에 비해 확실한 장점을 제공하도록 하려면 어떻게 설계해야 하는지에 대해 집중 조명합니다.

크기 및 폼팩터

크기 및 폼팩터는 카메라 선택에 있어 결정적인 기준들 중 하나입니다. 작업 모니터링용과 같은 외부 이미지 센서로 사용하거나 현미경 검사 카메라로 사용할 경우 카메라를 안정적인 하우징에 장착해야 합니다. 카메라를 장치에 내장시킬 경우 공간이 훨씬 더 중요한 요소가 되며 소형화와 크기가 아주 중요해집니다. 인터페이스와 케이블 커넥터가 여기에서 중요합니다. 옆으로 긴 USB 포트에는 배선에 더 많은 공간이 필요한 반면, 아주 유연한 리본 케이블이 달린 LVDS 기반 인터페이스는 아주 좁은 공간에도 장착할 수 있습니다. 머신 비전 카메라는 산업 환경에 맞게 강력하게 설계되었습니다. 소비자용 카메라와 달리 센서 간격, 카메라 변형 및 FOV에 끼치는 관련 영향과 같은 요소들을 설계에 반영합니다. 이는 높은 수준의 안정성과 이미지 데이터의 재현 가능성을 보장하기 위해 필수입니다.

카메라 환경

카메라 환경 및 배치 시나리오를 고려하는 것은 의사 결정 과정에서 또 하나의 핵심 요소입니다. 카메라는 종종 다양한 조명 조건에 부딪힙니다. 두 대의 카메라를 사용하는 대신 머신 비전 카메라는 소프트웨어를 사용해 서로 다른 주변 여건에 맞춰 카메라 설정을 조정합니다. 일반적인 MV 카메라 소프트웨어에서 이는 노출 시간, 트리거 및 화이트 밸런싱과 같은 기능을 제어하는 것을 의미합니다.

카메라 센서

카메라의 '눈'으로서 광학 센서는 가장 중요한 구성 요소 중 하나입니다. 검사 대상 물체가 무엇인지에 따라 내장된 센서는 최소 임계 거리에서 최대 해상도 이미지를 촬영할 수 있어야 합니다. 진단용으로 카메라를 사용할 경우 고감도 센서를 사용하면 최대 20 MP의 고해상도를 기대할 수 있습니다.

프레임 속도 역시 애플리케이션별로 달라집니다. 사용자의 간섭을 허용하는 실시간 이미지(예: 현미경 검사 카메라)가 필요하다면 매끄러운 이미지 재현을 위해 보통 25-30 fps (frames per second)가 필요합니다. 반대로, 고정된 표본의 검사 및 분석에는 프레임 속도가 전혀 중요하지 않습니다.

하지만 센서 종류와 같은 다른 결정 기준은 중요합니다. 안과용 굴절 검사계를 포함한 대부분의 애플리케이션에서는 모노크롬 센서가 적당합니다. 망막(retina)의 이미지 녹화와 같은 다른 애플리케이션에서는 검사 대상 물체의 색상이 분석 과정에 중요합니다. 안과, 병리학 및 피부과용 진단 애플리케이션에서 이는 매우 일반적인 분석 방

법입니다. 카메라에 의한 정확한 색상 재현은 또 다른 주요 기준으로 서 본 백서에서 자세히 설명할 것입니다.

어두운 조건에서 작동하는 애플리케이션(예: 형광조명)에는 우수한 양자 효율, 낮은 다크 노이즈 및 판독 노이즈를 가진 특별한 센서가 필요합니다. 저조도 애플리케이션에서 중요한 그 밖의 결정 요소로는 낮은 노이즈와 빛에 민감한 넓은 면적의 픽셀을 들 수 있습니다.

머신 비전 카메라 제조업체들은 일반적으로 자사 카메라용으로 광범위한 센서를 공급하며 때로는 동일한 센서를 서로 다른 인터페이스에 맞게 설계하기도 합니다. 이는 애플리케이션에 특화된 장치를 개발하는 대신 기성품 카메라를 사용할 수 있게 해 개발 공정을 상당히 간편하게 만들기 때문에 개발 비용 및 시장 출시 소요 기간을 짧고 효율적으로 만드는 데 중요한 요소입니다.

소비자용 카메라와 비교할 때의 또 하나의 장점은 이미지 품질입니다. 머신 비전 카메라에는 사전 처리를 위한 온보드 연산 유닛이 내장되어 있습니다. 이 기술은 여러 해 동안에 걸쳐 다듬어져 디베이어링, 노이즈 제거 및 보정 알고리즘과 같이 CPU를 많이 사용하는 연산 작업을 처리할 수 있습니다. 최상의 시나리오에서 연산 장치는 FPGA (Field Programmable Gate Array)를 사용해 자체 인터페이스를 통해 지연 없이 이미지 데이터를 전송할 수 있습니다.

머신 비전 카메라의 또 다른 주요 장점은 변수의 투명성입니다. 소비자용 카메라의 센서 판독에 일반적으로 상당한 후처리가 필요한 블랙 박스 프로세스가 관련되는 반면 머신 비전 카메라 개발자들은 카메라 설정을 완벽히 통제하고 있습니다.

또 하나 아주 중요한 점은 머신 비전 카메라 센서는 24시간 작동이 가능하도록 설계된다는 점입니다. 표준 카메라가 몇 시간만 연속 사용해도 오작동(일반적인 현상으로 이미지 결함 및 프레임 손실 발생)이 일어나기 시작하는 데 반해 머신 비전 카메라 센서는 중단 없이 아무런 제약 없이 수년 동안 동작할 수 있습니다.

인터페이스

머신 비전 카메라용 인터페이스로 가장 인기있는 것은 기가비트 이더넷(GigE)입니다. GigE 기술은 긴 케이블 길이와 표준 네트워크 아키텍처와 호환되기 때문에 의료용 애플리케이션에서도 인기가 좋습니다. 최근 수년 간, USB3의 간편한 플러그앤플레이 기능도 인기를 얻었습니다. 머신 비전 업계의 제조업체들은 GigE 및 USB3 포트를 통해 이미지 데이터를 전송하기 위해 특별히 고안된 표준을 개발했습니다. 바로 GigE Vision 및 USB3 Vision입니다. 이 프로토콜들은 눈에 띄게 가벼우면서도 안정적이고 이미지 데이터 스트림을 신속히 전송할 수 있습니다.

보다 작은 휴대용 기기에서는 대역폭이 인터페이스 선택뿐 아니라 이미지 처리 환경을 위한 핵심 요소입니다. 스테레오 애플리케이션의 경우를 예로 들면 LVDS 기반 인터페이스가 바람직합니다. 이 인터페이스는 고객의 프로세서 보드에 탑재된 연산 장치(예: FPGA)에 내장시켜 CPU 부하를 증가시키지 않고도 특정 연산 작업을 초고속으로 처리할 수 있습니다. 리본 케이블도 LVDS 기반 인터페이스에 사용됩니다. 이 케이블은 아주 유연하며 좁은 공간에 장치를 설치하기에 안정적입니다.

렌즈

일단 카메라, 조명, 처리 장치 및 알고리즘 사양이 확정되고 나면 다음 단계는 보통 렌즈에 대한 요구 사항을 정하는 것입니다. 맞춤형 렌즈를 생산하는 데는 여러 해가 걸리기 때문에 렌즈를 개발 초기 단계에 선택하는 것이 무엇보다 중요합니다. 몇몇 머신 비전 카메라 제조업체들이 적합한 렌즈와 해당 케이블을 공급하고 있습니다. 이 “원

스톱쇼핑”은 시간과 상당한 개발 자원을 절감시켜주며 또한 공급업체에 대한 리스크를 줄여줍니다.

기대 수명

플랫폼 기대 수명은 제조업체의 카메라를 선택할 때 또 다른 주요 측면입니다. 특히, 외과, 안과 및 의료 진단용 애플리케이션의 경우 오랜 시간이 소요되는 까다로운 인증 프로세스(ISO, FDA)에서 십년 이상의 제품 수명을 요구합니다. 이로 인해 카메라 제조업체들이 장기간 동안 제품을 이용할 수 있도록 보장하는 공급업체 네트워크를 조직하는 것이 무엇보다 중요합니다. 이 기준은 사실상 의료용 제품 제조업체들이 기술 혁신보다 장기간 수급 가능하다고 확신하는 제품들을 선호할 정도로 중요시되고 있습니다.

사용자 정의 옵션

머신 비전 카메라 제조업체들은 자사 카메라를 고객의 필요에 맞춰 개조하는 데 익숙합니다. 이러한 융통성은 의분 분야에서 특히 중요합니다. 예를 들어 하나의 제품이 의료용 제품으로 승인되면 해당 개발 단계에서 고객을 위해 펌웨어를 동결시켜야 하며 새로운 카메라들은 해당 펌웨어를 사용해 고객에게 공급되어야 합니다. 많은 경우에 카메라는 고객별로 소재, 레이블 및 색상을 조정하는 표준화된 의료용 하우징에 맞아야 합니다.

요약

따라서 머신 비전 카메라와 제조업체들은 의료 시장에 놀랄 정도로 적합합니다.

1. 오랜 수명의 카메라: 안정적인 하우징, 더 정확한 센서 배치, 우수한 내장품질.
2. 다양한 조명/애플리케이션 시나리오에 적응할 수 있는 기능을 갖춘 안정적인 업데이트된 소프트웨어 — 활용 방식의 높은 투명성 (소비자 등급 카메라 모듈에서 볼 수 있는 블랙 박스 방식 없음)
3. 폭넓은 센서 및 인터페이스 기술을 선택할 수 있고 우수한 지원을 받을 수 있어 빠르고 효율적인 통합 및 짧은 시장 출시 소요 기간이 보장됩니다.
4. 머신 비전 카메라는 물체의 실제 색상으로 정확하고 내구성 있고 재현 가능한 이미지를 제공합니다. 소비자급 카메라들은 이미지 개선을 위해 알고리즘에 의지합니다.
5. CMOS 센서가 CCD 센서에 비해 저렴한 대안으로 자리잡았습니다.
6. 머신 비전 카메라는 이미지 전송을 위해 특화된 GigE 및 USB 3.0 인터페이스를 갖고 있습니다.
7. VDS와 같은 새로운 인터페이스 기술들을 이용하면 아주 좁은 공간(예: 휴대 기기, 스테레오 비전)에 비전 시스템을 설치할 수 있습니다.
8. 원스톱 쇼핑: 카메라, 렌즈 및 케이블을 단일 공급업체에서 공급받을 수 있어 공급업체 문제를 최소화합니다.
9. 머신 비전 카메라 제조업체들은 수명이 긴 소프트웨어 및 하드웨어 플랫폼을 여러 해 동안 공급할 수 있습니다.
10. 부가 서비스로 고객별 애플리케이션(예: 색상, 레이블, 소재 및 기타)을 구현할 수 있습니다.

2. 의료 관련 카메라 애플리케이션에서의 색 충실도

색 충실도는 디지털 병리학, 안과, 혈액학 및 현미경 검사를 포함해 빠르게 성장하고 있는 몇 가지 의료 진단 분야에서 매우 중요합니다.

디지털 병리학은 서로 다른 두 개의 실험실 간에 표본 이미지를 전송하는 데 유용한 도구입니다. 이 도구를 이용하면 보다 저렴하면서 효율적으로 강력한 진단을 내릴 수 있어 전문가들은 더 이상 검사할 수 있는 표본과의 물리적 거리에 제한받을 필요가 없습니다. 소프트웨어가 디지털화된 표본을 보고 설명을 남기는 데 도움을 줍니다. 일단 디지털화되고 나면 표본 내의 검사 영역도 분석 알고리즘으로 전송할 수 있습니다. 소위 이 컴퓨터 보조 진단 장치(CAD)는 신경망과 같은 패턴 인식 알고리즘을 바탕으로 하며 최근 몇 년 사이 비약적으로 발전했습니다. 앞으로 그 중요성은 더욱 커질 것입니다. 이 프로세스를 이용하면 표본을 사전 검토할 수 있어 시간과 비용을 절약함과 동시에 진단에 대한 신뢰도를 높일 수 있습니다. 숙련된 병리학자들은 표본 내부의 특정 생체 구조의 색상을 진단 분석을 위한 강력한 지표로 간주하기 때문에 카메라가 엄격한 기대치를 만족시켜 물리적 표본의 디지털 버전에 자세한 부분과 색조까지 올바르게 반영되도록 보장할 수 있어야 합니다.

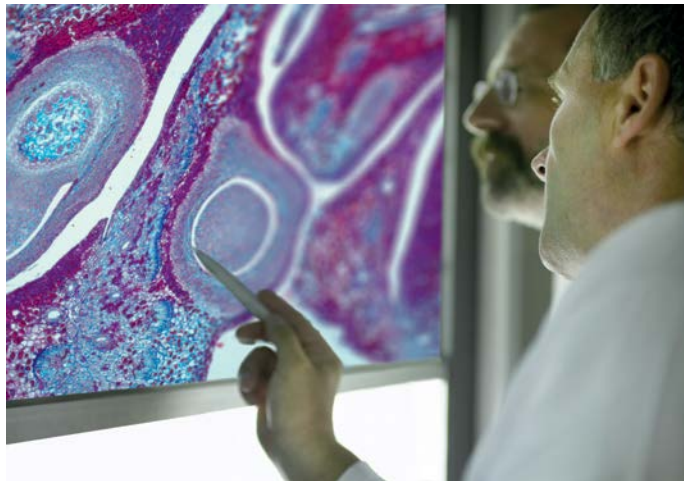


그림1: 디지털 병리학: 일단 표본이 디지털 처리되고 나면 전문가들은 병원성 구조를 파악하고 패턴 인식 알고리즘을 적용할 수 있습니다.

진단이 색 충실도에 크게 좌우되는 또 다른 응용은 디지털 피부 확대 검사입니다. 디지털 피부확대검사 중에는 악성일 가능성이 있는 피부 구조가 카메라에 녹화됩니다. 전통적인 광학 피부확대경은 암으로 의심되는 피부 일부분에 대한 평가를 할 수는 있었지만 표준화된 문서 작성이나 시간 경과에 따른 정량화된 관찰은 가능하지 않았습니다. 각각의 디지털 피부확대검사에서는 카메라를 이용해 수상한 피부 병변을 촬영합니다. 다양한 시간에 걸쳐 검사를 수행함으로써 색소의 변화를 디지털 방식으로 녹화할 수 있습니다. 소프트웨어가 이미지를 녹화하여 피부과 의사가 볼 수 있게 합니다. 반경 및 색상과 같은 다양한 기준들이 피부과 의사에게 진단을 위한 핵심 정보를 제공합니다. 따라서 색 충실도는 진단 과정에서 중요한 요소이며 카메라의 몇 가지 요구 사항을 구성합니다. 디지털 피부확대검사에서는 특히 조명의 종류 및 빛을 발하는 색상에 관계 없이 색상을 정확히 재현해야 하기 때문에 결코 사소한 문제가 아닙니다.

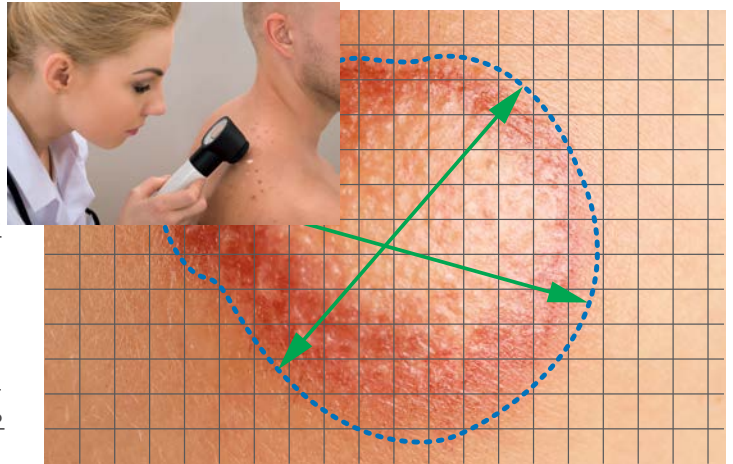


그림 2: 디지털 피부확대검사: 피부 표면의 병원성 구조는 디지털 피부확대경을 사용해 시간차를 두고 다양한 시점에 녹화한 뒤 소프트웨어를 사용해 분석합니다.

2.1 물체에서 측정값으로의 변환: 디지털 카메라의 색상 표현 방법

앞에서 언급한 애플리케이션들은 카메라가 어떻게 문서 작성, 시각 지원 및 측정을 위한 도구 역할을 하는지, 그리고 의료/기술 애플리케이션에서 카메라의 색 충실도 요구 사항이 얼마나 엄격한지에 대한 좋은 사례를 제공합니다. 색상 재현 과정을 설명하려면 먼저 물체의 색상 및 이미지의 색 농도 값이 어떻게 결정되는지 검토해야 합니다. 물체에서 반사된 빛은 렌즈를 통해 센서에 닿은 뒤 카메라에 의해 색상 값으로 변환됩니다.

이미지 촬영 중에 물체에서 반사된 빛은 처음 렌즈를 통과한 뒤 카메라 센서로 이동합니다. 세 가지 구성 요소 모두가 결정적 중요성을 갖고 있습니다. 물체에 대한 조명이 우수할수록 센서가 색 농도를 캡처할 수 있는 정밀도가 높아집니다. 반사된 빛은 렌즈를 통해 센서에 투사되기 때문에 이 역시 매우 중요합니다.

센서는 입사광의 광자를 기록할 수 있는 수많은 독립된 픽셀들로 구성되어 있으며 광자의 양에 다양한 강도의 전자 신호를 통해 결과를 보고합니다. 때문에 개별 픽셀은 들어오는 광자를 주워담는 “양동이”로 이해할 수 있습니다. 광자의 수와 스펙트럼 관련성(파장)을 구분하기 위해 컬러 센서에는 Bayer 패턴 또는 Bayer 매트릭스라 불리는 필터가 사용되어(그림 3) 특정 파장의 광자는 통과시키고 다른 파장의 광자는 차단합니다(그림 4). Bayer 패턴의 디자인은 센서 모델에 따라 달라질 수 있지만 일반적으로는 세 가지 유형의 필터(50% 녹색, 25% 적색 및 25% 청색)로 구성됩니다.

그림 3: 센서의 픽셀 위에 서로 다른 필터가 배치된 Bayer 패턴. 각 컬러 픽셀은 4가지 기본 픽셀(청색, 2x 녹색, 적색)로 구성됩니다.

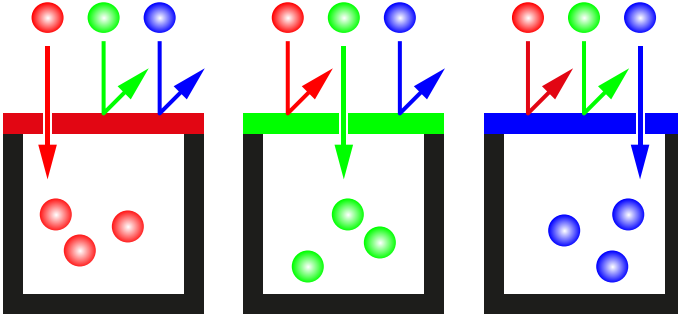
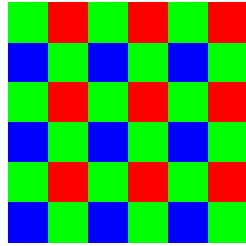


그림 4: 픽셀들은 특정 파장(예: 적색, 녹색 또는 청색)의 빛만 통과시킵니다. 다른 파장의 광자는 차단됩니다.

2.2 RGB 값 계산

다음 단계에서는 개별 컬러 픽셀의 농도 값을 사용해 색상 값을 계산합니다. 목표는 Bayer 패턴의 농도 값(예: 픽셀 당 8비트)을 기준으로 RGB 정보(픽셀당 24비트 - 적색 8비트, 녹색 8비트, 청색 8비트)를 추정하는 것입니다. 이 프로세스를 디베이어링이라 하며 누락된 색상 값의 추정과 관련된 것입니다. 디베이어링은 CPU를 많이 사용합니다. Basler 모델을 포함한 최신 카메라들은 이러한 잡다한 작업들을 내장되어 있는 FPGA를 이용해 내부적으로 처리합니다. 사용자 입장에서 이는 컴퓨터의 부하를 줄일 수 있음을 의미하며, 특히 리소스가 한정되어 있는 임베디드 애플리케이션의 경우 이것은 매우 중요합니다. FPGA를 이용함으로써 연산으로 인한 지연 시간도 최소한으로 유지됩니다.

색상 재현에 조금이라도 변동이 생기면 컬러 의료 이미지에 중요한 문제를 유발할 수 있습니다. 표준 sRGB 색 공간은 다양한 카메라 또는 센서 간의 차이 문제를 해결하는 데 도움을 주기 위해 개발되었습니다. 특히 표준화된 문서 작성이 중요한 제약 분야는 표준화된 컬러 재현의 원칙으로 sRGB에 의존합니다. sRGB는 동일한 sRGB 값을 가진 이미지 데이터가 전 세계 어디서든 색상이 보정된 sRGB 모니터에서 동일하게 보이도록 합니다.

카메라 특유의 RGB 값을 표준 sRGB 값으로 변환하려면 카메라에 색상 보정 및 감마 보정의 두 가지 보정 알고리즘이 필요합니다.

2.3 색상 보정(Color Calibration)

위에 기술되어 있는 바와 같이 카메라에 의해 생성된 색상 값은 대부분 조명, 렌즈, 센서 및 보간법(디베이어링)과 같은 요소들에 좌우됩니다. 의료 진단 시 계산된 색상 값에 의지하려면 먼저 색상을 실제 물체에 맞춰 조정하는 색상 보정이라는 일련의 절차가 필수입니다. 최신 카메라 시스템에서 색상 보정은 매트릭스 보정 및 6축 오퍼레이터를 이용한 보정이라는 세 가지 하위 절차로 구성됩니다. 이러한 보정이 완료되면 소위 감마 보정이 수행되는데 이것은 색상 보정에 포함되는 것은 아닙니다.

보정 프로세스에서는 세 가지 ColorCheckers를 사용합니다(그림 5, 오른쪽). 이것은 24개 색상 및 6단계 그레이로 이루어진 체스판 모양

의 카드로서 정사각형이 서로 연결되어 있는 형태입니다. 규정된 특정 조명 하에서 보면 개별 필드의 sRGB 값들은 알려져 있는 요소이며(그림 5, 왼쪽) ColorChecker가 카메라에 의해 감지된 컬러를 위해 참고가 되는 벤치마크 역할을 할 수 있게 합니다. 카메라의 색상 값은 특정 필드를 기준으로 측정되며 그런 뒤 색상 필드에 대해 알려진 실제 값과 비교할 수 있는 sRGB 값을 제공합니다. 색 공간에서 측정된 지점과 알려진 지점 간 벡터 길이를 ΔE (그림 6 참조)라 하며 색차라 부릅니다. ΔE 가 1인 경우를 최소식별가능차이(JND: just noticeable difference)라 합니다. ΔE 가 1보다 크면 다른 색상으로 인식됩니다. 이어지는 보정 프로세스의 목표는 색차 ΔE 를 최대한 줄이는 것입니다. 과거에는 색차 ΔE 를 계산하는 방법이 매우 다양했습니다. 70년대에 위에서 설명한 ΔE_{ab} 가 유클리드 벡터 거리를 측정하는 데 사용되었으며, 최근에는 ΔE_{94} 및 ΔE_{00} 와 같은 개념이 지점 간 거리에 대한 인간의 인지를 보다 정밀하게 설명하는 데 사용되고 있습니다.

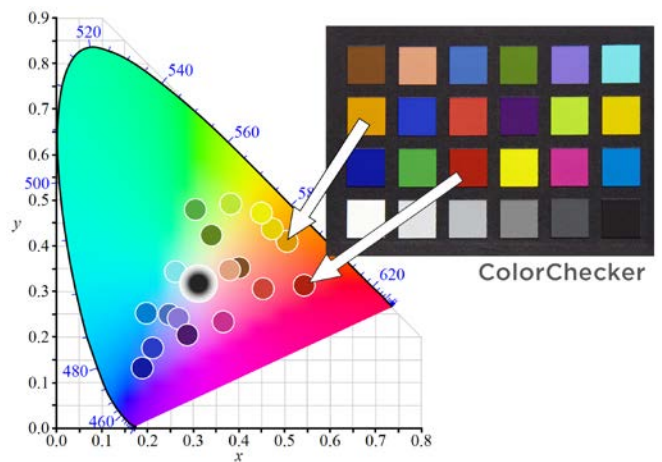


그림 5: 24색 및 6단계 그레이의 ColorChecker, $L^*a^*b^*$ 색 공간에서 ColorChecker의 sRGB 값(또는 그 중 한 개 레벨).

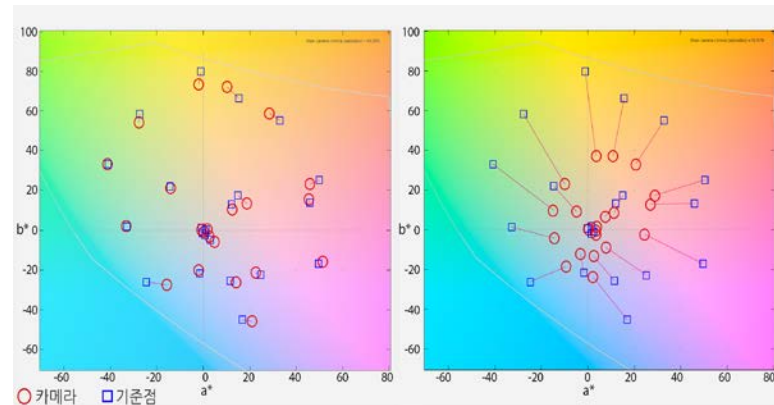


그림 6: 측정된 지점(동근 점, 카메라)과 알려진 지점(사각형, 기준점) 간 벡터 길이를 색차 ΔE 라 부릅니다. 색상 보정 덕분에 색차가 최소화됩니다.

2.3.1 화이트 밸런싱

화이트 밸런싱은 사진의 피사체를 조명하는 데 사용되는 빛의 색온도에 맞게 카메라를 조정하는 데 사용됩니다. 이를 위해 ColorChecker의 그레이 필드가 사용됩니다. 사람의 눈은 색 순응(chromatic adaptation)이라는 형태로 자체적인 화이트 밸런싱을 수행합니다. 이것은 주변광에서 색온도 변화를 주관적으로 인지하는 것을 방지합니다. 햇살과 인공 조명 모두에서 흰색 종이는 비슷해 보입니다.

화이트 밸런싱은 다양한 방식으로 수행할 수 있습니다. 아마도 가장 간단한 방법은 관찰자로 하여금 흰색 영역을 선택하도록 지시하는 것일 것입니다. 하지만 많은 애플리케이션이 자동으로 화이트 밸런싱을 수행합니다. 특히 간단한 *Grey World* 처리와 같은 여러 가지 다양한 절차 중 하나를 사용할 수 있습니다. 이 방법에서는 정상적인 사진에서 모든 색상의 평균은 회색이라고 가정합니다. 회색과 계산된 색상 평균 사이의 차를 파악한 뒤 색상 채널을 곱하면 흰색 표면의 합계는 $R=G=B$ 이어야 합니다.

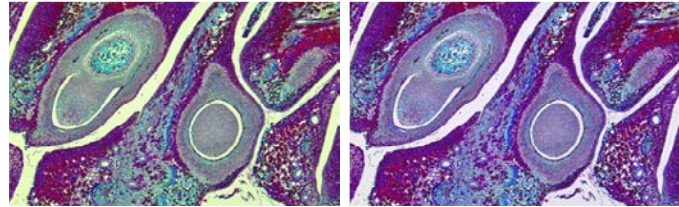


그림 7: Basler pulse puA2500 현미경 검사 카메라의 라이브 이미지에 대한 화이트 밸런싱 효과.
왼쪽: 화이트 밸런싱 이전, 오른쪽: 자동 화이트 밸런싱 적용 후

2.3.2 매트릭스 보정

매트릭스 보정은 센서의 컬러 픽셀이 갖고 있는 스펙트럼 감도를 사람의 감각 기관인 눈의 감도에 맞게 조정하는 데 사용됩니다. RGB 색상계는 적, 녹, 청으로 구성되며 이 색들이 3x3 컬러 매트릭스로 조합되어 올바른 색조를 만들어냅니다. 매트릭스 보정 결과는 카메라별 RGB 값을 표준 sRGB 값으로 변환하는 데 사용됩니다.

2.3.3 색조, 새채레이션

제약 업종을 위한 비전 시스템을 개발할 때는 이미지의 색차 최소화에만 대한 기대뿐 아니라 많은 경우 미관상 매력적이어야 한다는 기대가 있습니다. 특히, 측정뿐 아니라 사진을 통한 문서 작성용으로 도입되는 카메라는 세포 구조의 거시적 관찰 사례에서 그렇듯이 사용자들이 보기 좋게 채색된 이미지를 기대하도록 만들곤 합니다. 색조 및 새채레이션과 같은 기능은 이런 점에서 중요합니다.

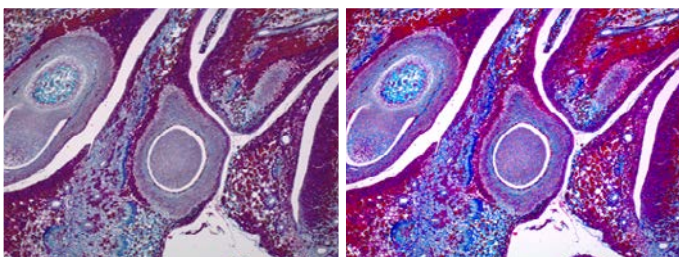


그림 8: 현미경 검사 카메라(Basler pulse puA2500)를 사용한 세포 구조 실시간 녹화 중의 새채레이션 증가.

색 공간에서 새채레이션이 증가하면 색상 지점은 공간의 바깥쪽으로 재배치됩니다(그림 9 참조, 오른쪽). 이와 대조적으로 색조 변화는 컬러 픽셀이 회전하게 합니다(그림 9 참조, 왼쪽). 새채레이션과 색조는 전체에 작동한다는 점을 기억하는 것이 중요합니다. 이들 기능을 이용해 이루어진 변화는 어떤 것이든 모든 색상에 동일한 수준의 영향을 줄 것입니다.

2.3.4 6축 오퍼레이터

색조 및 새채레이션과 달리 6축 오퍼레이터는 전체적인 조작이 아닙니다. 이것은 이제 다른 색상에 영향을 주지 않으면서 색 공간 내에서 개별 색상을 처리할 수 있게 만듭니다.

안저 촬영술을 포함한 일부 애플리케이션에서 사용자들은 특별한 색상의 느낌을 찾아내는 훈련을 받거나 여러 해 동안 실무 경험을 통해 이런 작업을 익힙니다. 6축 오퍼레이터를 사용하면 색 표현을 사용자 고유 취향에 맞춰 조정할 수 있습니다. 무엇보다 이는 새로운 장치를 개발할 때, 심지어 카메라 구성 요소를 교체해야 할 때조차 이미지의 느낌을 그대로 유지할 수 있음을 의미합니다.

이 외에도 6축 오퍼레이터는 두 가지 색상 간 차이를 개선할 수 있게 해 줍니다(예: 비슷한 적색 톤 두 가지). 이 예에서 밝은 적색과 어두운 적색은 노란색과 마젠타로 변경될 수 있습니다.

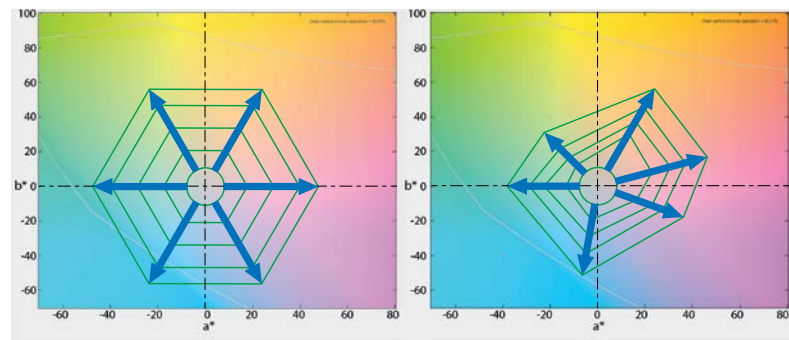


그림 9: $L^*a^*b^*$ 색 공간의 특정 레벨에 대한 조작 시각화. 왼쪽: 색조 및 새채레이션이 색 공간의 지점에 영향을 주는 전체적인 조작인데 비해(새채레이션은 변경할 경우 모든 컬러 지점에 동일한 영향을 줌), 6축 오퍼레이터(오른쪽)는 존재하는 다른 어떤 색상에도 영향을 주지 않으면서 색 공간의 개별 색상들을 다른 색상으로 변환할 수 있게 합니다.

2.4 감마 보정

사람의 눈과 달리 카메라 센서들은 밝기를 선형적 값으로 인식합니다. 다시 말해, 광자의 수가 두 배가 되면 측정된 농도 값을 두 배로 재현합니다. 진화론적 이유로 사람의 눈은 밝기의 차이를 비 선형 값으로 인식합니다. 어두운 곳에서의 밝기 차이는 밝은 곳에서보다 더 강하게 인식됩니다. 이로 인해 촬영한 이미지를 장치에서 올바르게 렌더링하려면 먼저 감마 보정을 수행해야 합니다. 이것은 어두운 영역에서의 밝기 차이는 확대하고 밝은 영역에서는 줄이는 곡선을 바탕으로 빛의 강도 값을 비선형적으로 변환하는 것에 해당됩니다. 목적은 모니터에서 그레이 값에 대한 선형성을 다시 확보하는 것입니다. 이미지 신호는 전송 경로를 따라 비선형 볼록면을 형성하기 때문에 이 현상을 보정하기 위해 사전에 이미지에 비선형 오목면을 곱해야 합니다(그림 10 참조).

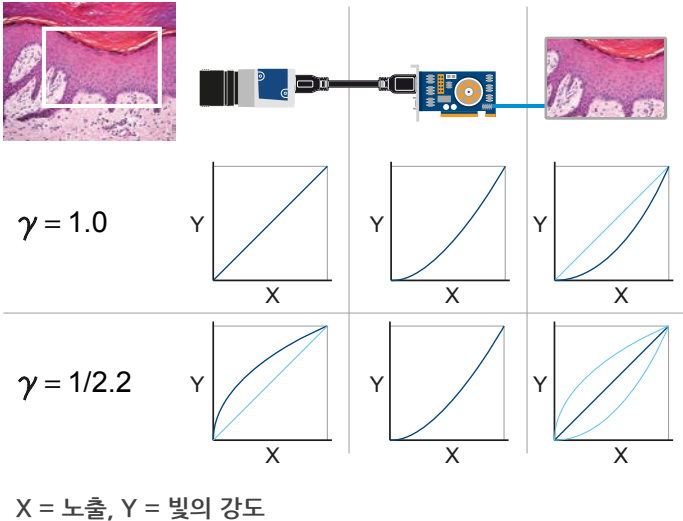


그림 10: 감마 보정의 시각적 표현. 촬영한 이미지는 전송 중에 역 감마 곡선에 대한 보정을 하여 이미지가 최종적으로 모니터 상에 선형 변화를 보이도록 하기 위해 감마 보정을 거쳐야 합니다.

2.5 현실적인 색상 보정

최신 카메라에는 사전에 정의된 색상 보정 기능이 내장되어 있습니다(화이트 밸런싱, 매트릭스 보정 및 6축 오퍼레이터). 이러한 설정들은 시나리오 별로(daylight 5000 Kelvin, Daylight 6500 K 및 Tungsten 2500 K) 사전 보정해 이러한 상황에서 카메라를 바로 사용할 수 있게 해 줍니다. 사용자가 자신의 비전 시스템과 특수 조명에 맞춰 색상 보정 프로세스를 수행하고자 할 경우 이러한 소프트웨어를 제공하는 카메라 제조업체는 Basler를 포함해 소수에 지나지 않습니다.

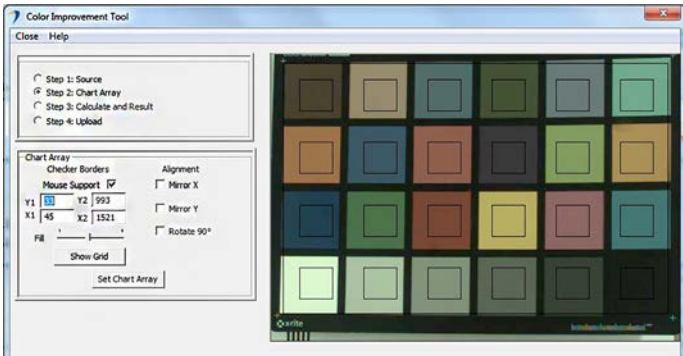


그림 11: 색상 개선 도구. 소프트웨어 프레임워크는 보정되지 않은 카메라 이미지를 입력받아 ColorChecker에 표현합니다. 색차를 계산한 뒤 화이트 밸런싱, 매트릭스 보정 및 6축 오퍼레이터 변수를 최적화해 색차를 감소시킵니다. 그런 다음 변수를 카메라에 직접 전송할 수 있습니다.

색상 보정 기능이 없는 산업용 카메라는 대개 색차 값이 10에서 20 사이에 이릅니다. 색상 보정 덕분에 최신 (Basler) 카메라의 색차 합계 ΔE 는 3~4 수준이며 이는 제약 업계의 높은 기준을 만족시키기에 충분한 수준입니다.

색 충실도 요약

- 색 충실도를 위한 핵심 요소는 조명, 센서 및 색상 보정입니다.
- 디베이어링, 화이트 밸런싱, 감마 보정, 매트릭스 보정 및 6축 오

퍼레이터와 같은 사전 처리는 색차를 최소화하거나 색상을 이전 색상 프로필에 맞게 조정할 수 있습니다(예: 기존 비전 시스템을 대체하는 새 제품의 프로필 조정).

- 측정치에 따라 색차 (ΔE)가 결정되며 ΔE 3 - 4는 매우 우수한 수준으로 간주됩니다.
- 규정된 빛 온도에 맞춘 사전 보정은 표준 카메라 환경에서의 통합 비용을 줄여줍니다.
- 컬러 매트릭스 보정 또한 시스템별로 고객이 직접 조정할 수 있습니다.
- FPGA를 이용한 디베이어링은 호스트에서의 연산에 필요한 리소스를 절약해 줍니다.

3. CCD에서 CMOS 센서 기술로의 전환

시판되고 있는 산업용 카메라용 이미지 센서는 두 종류, 즉 CCD 및 CMOS 센서입니다. 하지만 오래 전부터 대세는 CMOS 센서 기술로 기울었습니다. 이러한 변화가 놀랄 것이 없는 것이 CMOS 센서는 에어리어 스캔과 라인 스캔 카메라에 중요한 변수 두 가지인 프레임 속도 및 노이즈 레벨이 최근 몇 년 사이 크게 향상되었습니다. 이 외에도 CMOS는 상대적으로 가격이 저렴해 이미 전반적으로 낮아지고 있는 시스템 가격 이상으로 추가적인 절감을 가능케 합니다.

3.1 두 가지 센서 기술의 차이는 무엇일까요?

현재 시판 중인 센서 종류에는 CCD (charge-coupled device)와 CMOS (complementary metal oxide semiconductor) 이미지 센서가 있습니다. 이들 센서의 역할은 빛(광자)을 전기 신호(전자)로 변환하는 것입니다. 하지만 이 정보는 두 가지 센서에서 서로 다른 방식과 수단에 의해 전달되며 각각의 설계 자체에 근본적인 차이가 있습니다.

3.2 CCD 센서 디자인

CCD 센서에서는 광 감지 픽셀의 전하가 신호로 전환됩니다. 반도체 노출에 의해 생성되는 픽셀의 전하는 “버킷 체인” 작업과 비슷한 수많은 아주 작은 이동 작업(세로 및 가로 시프트 레지스터)을 통해 중앙에 있는 아날로그/디지털 컨버터로 이동됩니다. 전하의 이동은 센서의 전극에 의해 생성되는 전기장에 의해 이루어집니다.

CCD 센서의 전하 이동에는 많은 시간이 소요됩니다. 많은 수의 픽셀을 바탕으로 많은 이동 작업을 통해 중앙 증폭기에 전하를 공급해야 하는 고해상도 센서에서 이러한 단점은 특히 두드러집니다. 이로 인해 최대 프레임 속도가 크게 저하됩니다.

3.3 CMOS 센서 디자인

CMOS 센서에서는 개별 픽셀에 전하 저장소 역할을 하는 커패시터가 평행하게 배열됩니다. 이 커패시터는 각 픽셀이 광전류에 노출되어 충전됩니다. 커패시터에 생성된 전압은 밝기 및 노출 시간에 비례합니다. CCD 센서와 달리, 센서가 빛에 노출됨으로써 포획된 전자는 단일 출력 증폭기로 이송되는 대신 각 픽셀 자체 전자 회로를 통해 소스에서 직접 측정 가능한 전압으로 변환됩니다. 그런 뒤 이 전압이 아날로그 신호 프로세서에 전달됩니다. 별도의 전자 회로를 사

융합으로써 CCD에서처럼 전하를 이동시키지 않고도 각 픽셀을 처리할 수 있습니다. 이로 인해 CCD 센서에 비해 이미지 정보를 훨씬 빨리 선택할 수 있고 과도한 노출로 인해 생길 수 있는 초점번짐(blooming) 또는 스미어링(smearing)과 같은 현상이 훨씬 적거나 아예 발생하지 않습니다. 단점은 각 픽셀 전자 회로에 필요한 추가 공간이 빛을 감지할 수 있는 영역으로 제공되지 않는다는 것입니다. 따라서 CCD 센서에 비해 센서 표면에서 빛을 감지할 수 있는 영역 비율(Fill Factor(FF)에 의해 정해짐)이 작습니다. 이로 인해 이론적으로는 이미지 정보를 수집할 수 있는 광자 수가 적어집니다. 하지만 이런 단점을 완화할 수 있는 방법들이 있습니다.

CMOS 센서는 개별 픽셀이 흡수할 수 있는 전자의 최대 개수를 결정하는 풀웰커패시티 또는 새추레이션커패시티가 훨씬 높습니다. 많은 경우에 이것을 인위적으로 낮은 새추레이션 임계값으로 제한합니다.

그래서 CCD 센서가 감도 값이 보다 우수한 반면 CMOS 센서는 우수한 새추레이션커패시티를 통해 다이내믹 레인지(Dynamic range)를 구현하는 것 이상의 효과를 냅니다. 이렇게 해서 CMOS와 CCD 센서는 거의 동일한 다이내믹스 레벨의 성능을 제공합니다.

CMOS 센서가 CCD 센서에 비해 새로운 기술이지만 현재로서는 기술적으로 성숙되어 있는 기술이며 많은 애플리케이션에서 실제로 더 나은 성능을 보이고 있습니다.

CCD 및 CMOS 픽셀의 판독 동작 차이:

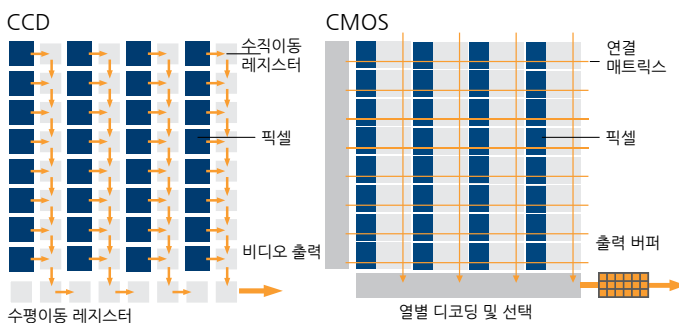


그림 12: CCD 센서(좌)와 CMOS 센서(우) 디자인. 전하는 인접 픽셀을 거쳐 CCD 센서로 이동합니다. 이와 달리 CMOS 센서에서는 각 픽셀의 전하가 전압으로 직접 변환되고 판독되며 이로 인해 CMOS 센서의 속도가 훨씬 빠릅니다.

3.4 의료 및 생명 과학 애플리케이션에서의 CMOS 기술의 장점

위에서 언급한 바와 같이 CMOS 센서는 최근 몇 년 사이 괄목할 만한 업그레이드를 거쳤으며 대부분의 경우 CCD 센서에 비해 우수한 성능을 보여줍니다. 빠른 속도(프레임 속도) 및 해상도(픽셀 개수), 낮은 소비 전력, 그리고 무엇보다 최근 개선된 노이즈 특성, 양자 효율은 과거 CCD 센서가 독차지했던 애플리케이션 영역까지 열어주었습니다.

CMOS 기술의 성능 개선과 강력한 가성비로 CMOS 센서를 의료 및 생명 과학 애플리케이션에서 더욱 매력적인 제품으로 만들어주고 있습니다.

CMOS는 이미 많은 장점을 갖고 있습니다.

■ 빠른 속도 (프레임 속도)

CMOS 센서는 구조적으로 훨씬 더 높은 프레임 속도를 허용합니다. 개선된 감도, 그리고 CMOSIS, Sony 그리고 ON

Semiconductor의 최신 글로벌 셔터 기술이 결합되어 이제는 초고속으로 이미지 시퀀스를 캡처할 수 있습니다. 이는 다시 초당 검사 가능 부품 수 증가와 같이 애플리케이션에서의 성능 향상으로 이어집니다.

- ▶ 현미경 검사 샘플의 끊임 없는 검사
- ▶ 실험실 자동화 애플리케이션을 위한 신속한 초점조정

■ 높은 해상도 (픽셀 개수)

구조적으로 CMOS 센서는 초고해상도에서도 매우 높은 프레임 속도를 제공할 수 있으며 이로 인해 고해상도 센서들은 이 기술을 기반으로 생산되는 것이 기본입니다.

- ▶ 자동화된 표본 검사에 충분한 해상도
- ▶ 현미경 검사에서 백만 픽셀 단위의 해상도를 선호하는 트렌드에 따른 높은 해상도에 대한 수요 증가

■ 강력한 다이내믹 레인지(Dynamic range)

풀웰커패시티 또는 새추레이션커패시티는 개별 픽셀이 흡수할 수 있는 전자의 최대 개수입니다. 감도에 대한 풀웰커패시티 비율은 센서가 커버할 수 있는 다이내믹레인지에 나타냅니다. 그래서 CCD 센서가 감도 값이 보다 우수한 반면 CMOS 센서는 우수한 새추레이션커패시티를 통해 다이내믹 레인지(Dynamic range)를 구현하는 것 이상의 효과를 냅니다. 이렇게 해서 CMOS와 CCD 센서는 거의 동일한 다이내믹스 레벨의 성능을 제공합니다. Sony IMX174 센서는 모든 동급 CCD 센서와 비교해 우수한 다이내믹 레인지를 갖고 있는 CMOS 센서의 좋은 예입니다.

- ▶ 현미경 검사 카메라에서의 강력한 재현 성능

■ 낮은 소모 전력

- ▶ 낮은 열 방출 및 전력 소모, 소형 또는 휴대용 의료 기기에 최적
- ▶ USB 3.0과 같은 데이터 연결을 통해 전체 카메라에 전원을 공급할 수 있어 시스템 설치 간소화 및 비용 절감에 기여함

■ 노이즈 특성 개선

- ▶ CMOS 센서의 낮은 전력 소비로 인해 열 방출이 적어지고 신호 노이즈가 훨씬 적어집니다. 경험 법칙: 온도가 8°C 상승할 때마다 신호 노이즈가 두 배 증가합니다.

■ 향상된 양자 효율

몇 년 전 사람들은 저조도 환경에서는 CCD 센서를 선택하는 것이 더 좋고 CMOS 센서는 밝은 조명 여건 하에서 사용하는 것이 좋다고 말했습니다. 하지만 CMOS 센서의 이미지 품질이 놀라울 정도로 향상되어 이제는 어두운 환경에도 적합합니다.

- ▶ 형광조명 애플리케이션용으로 적합함

■ 우수한 가격 대비 성능비

- ▶ 의료 기기 및 시스템 비용 절감

오늘날 CMOS 기술이 갖고 있는 주요 특성으로 인해 이 센서 기술이 오랫동안 인기를 누릴 것으로 보입니다.

저자



Peter Behringer

2016년 이후, Peter Behringer는 Product Market Manager로서 의료 및 생명 과학 시장에서 Basler 임베디드 카메라의 마케팅을 맡고 있습니다.

Basler에 입사하기 전 그는 뉘른베르크 대학에서 의공학(Medical Engineering) 석사 학위를 받았습니다. 재학 중 그는 Charité Berlin 대학 병원과 Surgical Planning Laboratory, 그리고 하버드

의학대학원을 포함한 명성있는 기관들에서 인턴으로 근무했습니다.

Peter Behringer는 제약 관련 화상 처리에 관해 수많은 연구 논문을 발표했습니다.

연락처

Peter Behringer - Product Market Manager

전화: +49 4102 463 662

팩스: +49 4102 463 46662

이메일: peter.behringer@baslerweb.com

Basler AG

An der Strusbek 60-62

22926 Ahrensburg

Germany

Basler AG

Basler는 생산, 제약, 교통 및 소매 애플리케이션을 위한 고품질 디지털 카메라의 선도적인 제조업체입니다. 제품은 업계의 요구 사항에 따라 디자인되며, 용이한 통합, 작은 크기, 우수한 이미지 품질과 탁월한 가성비를 제공하고 있습니다. Basler는 1988년에 설립되어 비전 기술에서 25년 이상의 경험을 가지고 있습니다. 500여명의 직원이 독일 아렌스부르크의 본사와 유럽, 아시아, 미국의 지사에 근무 중입니다.



Denis Dettmer

Denis Dettmer는 Basler AG의 Product Manager입니다. 전에는 은행 자동화 및 POS 시스템 제조업체를 대상으로 한 판매 및 마케팅, 그리고 대형 독일 은행 협회의 셀프 서비스 시스템 Product Manager로 일했습니다. 또한 IT 아웃소싱 회사에서 Certified Requirements Engineer 및 프로젝트 매니저로 일한 경력도 갖고 있습니다.

현재, 그는 의료 및 생명 과학 분야용 보드 레벨 카메라와 관련된 정보 및 자문 분야의 인재로서 세계 각지의 Basler 고객들에게 자신의 프로세스 및 시장 전문 지식을 제공하고 있습니다.

회사 내에서 Denis는 제품 마케팅 매니저로서 USB 인터페이스 탑재 보드 레벨 카메라와 관련된 고객 및 기술 조직의 요구 사항을 제품 관리 레벨에서 현실적인 것과 조화를 이루도록 조율합니다. 여기에는 의료 및 생명 과학 업종을 위한 단기적인 카메라 개발과 미래의 카메라 개발에 대한 책임도 포함되어 있습니다.

연락처

Denis Dettmer - Product Market Manager

전화: +49 4102 463 375

팩스: +49 4102 46 46375

이메일: denis.dettmer@baslerweb.com

Basler AG

An der Strusbek 60-62

22926 Ahrensburg

Germany

면책 조항 및 개인정보 보호 정책에 대한 내용은 www.baslerweb.com/disclaimer를 참조하십시오.

©Basler AG, 11/2016

Basler AG

독일, 본사

전화: +49 4102 463 500

팩스: +49 4102 463 599

sales.europe@baslerweb.com

www.baslerweb.com

Basler, Inc.

미국

전화: +1 610 280 0171

팩스: +1 610 280 7608

sales.usa@baslerweb.com

Basler Asia Pte Ltd.

싱가포르

전화: +65 6367 1355

팩스: +65 6367 1255

sales.asia@baslerweb.com

BASLER
the power of sight