

실시간 카메라 자동 초점 조절 (Auto Focusing) 시스템

오픈소스 URL : <https://github.com/shimat/opencvsharp>



팀 명 배이글
지도교수 고광신

팀 원 박성욱(컴퓨터공학과, 4), 이다윤(생명과학과, 4), 이예은(생명과학과, 4)
산업체 (주)이글이비전

개발 동기 및 목적

- 현재 농산물 선별 작업은 작업자의 숙련도에 의존하여 품질의 편차 및 관리가 어렵다는 단점이 있다. 따라서 해당 산업체에서는 나주 배의 수출·보관을 위해 상하거나 품질이 떨어지는 배를 구분하기 위해 지능형(AI) NIR 비파괴 과일 선별 시스템을 개발 중에 있으나, 그 전 단계로 실시간 카메라 자동 초점 시스템이 요구된다.
- 과일의 모습을 실시간으로 파악해 서로 다른 크기의 과일도 정확하게 인식할 수 있도록 하는 기술 개발이 필요했다. 과일의 크기나 모양이 전부 다르기 때문에, 물체의 ROI와 WD를 조절해 최상의 Sharpness를 찾는 기술을 요한다.
- 수직 구조에서 카메라-물체 간 작동거리(WD)를 자동으로 제어해 물체가 프레임 가로 기준 70~80%를 안정적으로 차지하도록 하여 선별 시스템의 오차를 줄여 선별 과정에 신뢰성을 부여한다.
- 본 프로그램을 개발함에 있어, 단순히 물체의 정확한 인식에 국한되지 않고 여러 다른 기술에도 접목할 수 있다고 판단된다.

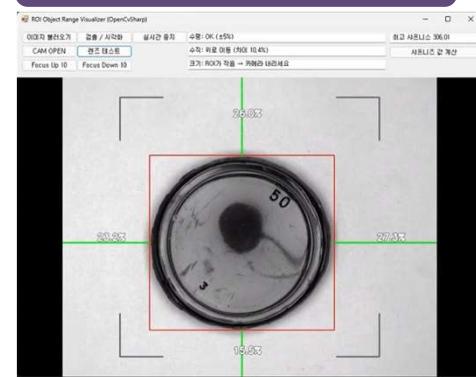
개발 내용

- 전체 파이프라인은 입력 프레임 → 전처리 → ROI 검출 → ROI 비율 계산 → 목표 FOV 계산 → WD 조절 → 초점(곡률) 조절로 Sharpness 최대점 적용이다.
- 사용된 하드웨어는 전동줌렌즈, 액상렌즈, 카메라이고, 소프트웨어는 C#(.NET) + OpenCvSharp4, LensConnect Controller 2.2.0, MVS를 사용하였다.
- WinForm의 topbar에는 다음 기능들이 포함되어 있다.
 - 이미지 불러오기 : 로컬에 저장된 이미지 불러옴
 - 검출 / 시각화 : 물체의 ROI를 검출해 bounding box로 시각화
 - 캠 Live : 카메라의 실시간 영상을 스트리밍
 - CAM OPEN : 카메라 장치를 열어 연결을 준비
 - 렌즈 테스트 : 전동 렌즈 연결 상태와 펌웨어를 확인
 - Focus UP/Down 10 : 카메라 초점을 단계씩 증가/감소시킴
 - H, V : ROI의 수직/수평 위치 가이드 정보를 표시
 - S : ROI 크기가 설정된 가이드 대비 적합한지 여부 표시
 - 샤프니즈 값 계산 : 현재 영상에서 최적의 Sharpness와 포커스를 계산하고, 해당 포커스로 자동으로 이동하는 기능
 - Sharpness : 계산한 최적의 Sharpness 값을 표시

주요 기술

- 영상의 전처리를 위해 열림(opening) 연산을 수행하여 객체의 외곽을 구한다. 열림 연산은 침식 연산을 수행한 후 팽창 연산을 수행하는 것으로, 큰 물체의 주변을 깎아내고 주변을 확장하게 되어 노이즈가 제거된 외곽선만이 남은 영상을 얻게 된다.
- 구한 외곽선을 이용해 ROI(Region Of Interest)를 추출하여 영상에서 물체가 실제 차지하는 공간을 구한다. 아래 사진에서 빨강색 선이 ROI를 의미한다.
- 물체와 카메라 사이의 거리(WD)를 자동 조절하기 위해 FOV(Field Of View), 초점 거리(F)를 이용한 공식으로 WD를 구한다.
$$WD = (F \times FOV) / \text{Sensor Size}$$
 이를 적용시켜 물체를 촬영하기 위한 최적의 거리로 카메라 높이를 조절한다.
- 밝기의 급격한 변화(엣지, 경계)가 있는 부분에서 값이 크게 나타나는 라플라시안 분산을 이미지에 적용하여 초점 거리를 자동으로 조절해 최적의 선명도(Sharpness)를 획득한다.

결과 및 분석



- 산업체에서 요구한 기능은 다음과 같다. 영상의 전처리 및 ROI 추출, 물체와 카메라 사이의 거리(WD) 자동 조절 기능, 최적의 선명도를 위한 초점거리 자동 조절 기능. 그러나 WD 자동 조절 기능은 구현에 실패하였는데, 그 이유는 산업체 측에서 전동 렌즈가 준비되지 않았기 때문이다. 따라서 가이드라인을 통해 물체의 점유율을 안내하도록 구현하였다.
- 추가적으로 ROI 신뢰도 기능을 구현하였는데, 신뢰도 판단 기준은 비중이 높은 순으로 샤프니즈, 시간적 안정성, 중심 위치로 설정하였다. 신뢰도가 높을 수록 이미지가 선명하고 안정적이다.
- 이 프로그램은 산업체에 필요한 나주 배 이외에도 여러 물체를 촬영할 수 있어 많은 활용 방안이 있을 것이며, 여러 영상 처리의 전처리 과정으로 사용될 것으로 기대된다.