

果實收穫 로봇트에 관한 研究(Ⅱ)*
—閉鎖回路 TV 카메라에 의한 果實의 位置檢出—

Development of a Fruit Harvesting Robot(Ⅱ)
—Determination of Fruit Location by a Closed-Circuit TV Camera—

柳 寬 熙,** 盧 祥 夏,** 金 鍊 皓**
K. H. Ryu, S. H. Noh, Y. H. Kim

Summary

The most important subject in developing agricultural robots for fruit harvesting is to detect accurately the location of a fruit about the given coordinate system. This study was carried out to develop an image processing algorithm which enables finding out the three dimensional locations of a fruit.

The digital image processing device consisted of an optosensor (Closed-circuit TV camera), image processing interface board (Digitizer) and microcomputer (IBM PC/AT).

A stereo-image processing method using the two cameras attached to the manipulator was evaluated through experiment with apples. The accuracy and quickness of detecting the location of apples by this method was not satisfactory. The maximum errors of the detected locations by the stereo-image processing method in x-, y-, and z- directions were 3, 4 and 4 cm, respectively. The maximum time required to get the rectangular coordinate data of a fruit was about 2 minutes.

1. 緒 論

기계식 과실수확기(예를 들어 진동식 과실 수확기)의 중요한 결점 중의 하나는 선택성이 없는 single-pass 방식이라는 점이고, 또 하나의 결점으로 는 수확기의 작업 특성상 과실에 상처가 생기기 쉬운 점이다.

이러한 문제점들과 80년대 들어 로봇트 기술의 급속한 발전으로 인하여 로봇트에 의한 과실 수확기의 개발이 모색되기 시작하여 이미 세계 여러 나라에서는 농업용 로봇트의 연구 및 개발이 매우 활발히 진행되고 있는 실정이다.

현재 개발된 과실 수확용 로봇트에서 목표물을 감지하기 위한 시각 기능으로서 최근 급격히 발달된

TV 카메라를 이용한 디지털 영상 처리 방법을 이용하는 것이 대부분이다. 그러므로 과실 수확용 로봇트의 개발에서 디지털 영상처리에 대한 연구가 중요할 뿐만 아니라 반드시 선행되어야 한다.

농작업에 필요한 전용 로봇트의 개발에서 가장 중요한 문제는 알고 있는 좌표계에 대하여 수확하려는 과실의 정확한 위치를 검출하는데 있다. 따라서 본 연구의 목적은 과실의 위치와 자세를 포착, 감지하기 위해 로봇트의 감각기능 중에서 가장 큰 부분을 차지하는 시각 장치 부분의 구성을 목표로 광센서(카메라)와 영상처리용 인터페이스 보드(digitizer)와 프로세서로 디지털 영상처리 장치를 구성하고, 또한 과실을 수확할때 카메라가 화소수를 유효하게 생성시킬 수 있는 위치인 머니튜레이터의 핸

*본 연구는 1986년도 학술진흥재단의 첨단과학 연구비 지원으로 수행되었음.

**서울대학교 농과대학 농공학과

드 가까이 카메라 2 대를 장착하여, 스테레오 영상방법(stereo imaging process)을 이용한 연산에 의해 과실의 3차원 위치 정보를 얻고, 이로부터 실제 3차원 값과 비교하여 정확성과 농업용 로봇에의 이용 가능성을 검토하는데 있다.

본 연구의 구체적인 목적은

- 1) 영상처리 시스템을 구성하여 과실의 3차원 위치를 검출하기 위한 영상처리 알고리즘을 개발하고
- 2) 과실 위치 검출의 정확도를 검증하여 과실수확 적용의 타당성을 검토하는데 있다.

2. 文獻 概要

미국 농공학회가 주관한 "Agri-Mation"에서 세계 여러 나라의 과일 및 채소 수확용 로봇 시스템의 개발에 관한 연구가 보고되었으며, 1990년대에는 거의 실용화가 가능한 것으로 보고되었다.

미국의 경우, Parrish와 Goksel(1977)⁵⁾은 과실 수확에서 원통 좌표계 로봇을 안내하기 위한 시스템으로서 machine vision이 이용될 수 있는 기술적 가능성을 입증하였다. 이 원통 좌표계 로봇은 2개의 revolute(Rotational) 조인트와 하나의 prismatic(Sliding) 조인트로 구성되어 있고, 로봇의 운동을 제어하기 위해 머니플레이터의 선단에 CCD 카메라를 장착시켜 실시간 visual feedback 방식을 이용해 과실을 수확하도록 되어있다.

Whittaker 등(1987)¹¹⁾은 영상에 잡음이 섞여있고 과실이 부분적으로 시야로부터 가려져 있다 하더라도, 색깔이 아닌 외형을 근거로 modified circular Hough transform을 이용한 디지털 영상분석을 행하여 토마토의 위치 검출을 행하였다.

Slaughter와 Harrell(1987)¹⁰⁾은 칼라비전 시스템을 이용해서 과실 수확을 위한 로봇의 머니플레이터를 제어함으로써 속도와 가격의 제한이 따르는 과수원에서의 과실을 찾는 발전적인 해결방법을 제시하였다. 이 논문은 칼라 영상에서 과실과 다른 물체 사이에 색깔의 natural high contrast를 적용하여 배경나뭇잎, 토양, 하늘 등으로부터 잡음을 구분해낼 수 있는 것을 증명하였다.

프랑스에서는 French Institute of Agricultural Engineering Research에서 수년동안 사과 수확용 로봇에 관한 연구를 수행하고 있다. A. G. d'Esnon(1985)³⁾은 line scan 카메라를 장착한 망원(telescope) 아암이 2차원 평면에서 과실의 위치를 찾는 로봇을 개발하였다. 속이 빈 튜브를 가진 아암은 수직 프레임에 따라 배크와 피니언에 의해 병진운동을 행함으로써 과실에 도달한다. 아암 끝에 부착된 flexible finger가 과실을 따면 자동적으로 속이 빈 튜브를 통해 수확상자에 수집되도록 되어있다.

일본에서는 Kawamura 등(1985)^{6,7)}이 과실 수확용 로봇을 개발한 목적으로, 그 눈으로서 고체 칼라 TV 카메라를 머니플레이터에 장착하여 영상 입력 장치를 제작하고, 카메라가 수평 이동하여 눈 지점에서 영상을 입력함으로써 3차원 좌표를 구하는 스테레오 영상의 방식으로 머니플레이터를 제어하는 방법을 제시하였다.

3. 材料 및 方法

가. 實驗裝置

디지털 영상 처리 기법은 농산물의 검사, 선별, 갯수, 위치등을 판별하는데 사용할 수 있는데 주로 specula reflectance(반사 분광 특성), 크기, 외형 등과 같은 형상을 이용하는 기법이 많이 쓰이고, 자연환경에서 과실의 위치를 찾는 연구는 아직 기초 단계에 있다. 색깔이나 반사 분광 특성과 같은 파라미터는 과실선별, 등급 그리고 가장 중요하게 과실의 위치 판별에 성공적으로 이용할 수 있는데 이들 정보를 이용하면 자동화된 수확 메카니즘의 작동 모델을 완전히 구성할 수 있다.

이를 위해서는 칼라 영상 입력장치를 구성해야만 하는데, 칼라 영상 입력장치를 이용하기 위해서는 고체 촬상 소자를 이용한 칼라 카메라와 또한 영상에서 과실과 잎 등을 구분하기 위해 반사 분광 특성을 구명할 수 있는 spectrophotometer 등이 요구된다. 그러나 이와 같이 시스템을 구성하자면 막대한 비용이 필요하기 때문에 본 연구에서는 색깔을 무시하고 일반적으로 과실의 위치를 찾는 접근

방법으로 식별할 수 있는 형상으로써 대상물의 형상을 이용한 흑백에 의한 과실 위치 검출 장치를 구성하였다.

과실 위치 검출 장치의 주요 구성요소는 폐쇄회로 TV 카메라, 80286 CPU 및 640 K RAM, IBM PC/AT에 장착된 영상 처리용 인터페이스 보드, 디지털화된 영상을 보이기 위한 흑백 비디오 모니터, 과실 위치 검출용 소프트웨어 등으로 나눌 수 있다.

1) 폐쇄회로 TV 카메라(Closed-circuit TV camera)

이 부분은 영상 처리를 위한 비디오 신호(video signal)를 출력하는 부분으로 대부분 비디오 튜브(vidicon tube)나 고체 이미지 센서(solid state imaging sensor)로 구성된 텔레비전 카메라를 이용한다. 본 실험에서는 비디오 튜브를 이용한 폐쇄회로 TV 카메라(모델 OTC 1512)를 사용하였다.

폐쇄회로 TV 카메라는 비디오 관상관에 이용함으로써, 오래 사용한 경우에 신호가 드리프트되고 노이즈가 생기며 영상의 찌그러짐 등의 결점이 있지만, 반면에 값이 싸고 구하기 쉬우며, 영상 신호를 모니터로 확인 할 수 있다는 장점이 있다.

미니플레이터 장착용 카메라는 광학 가깝고 소형이어야 하는데 본 연구에 사용한 폐쇄회로 TV 카메라는 전원 전압이 110V, 소비 전력이 12W이고, 모델 길이 225mm, 폭이 95mm, 높이가 70mm, 질량이 1.8kg이나 되어 미니플레이터에 장착을 위해서는 부적합 하였다. 렌즈를 조종 거리가 16mm이고 수평 시야각은 30°24', 수직 시야각은 23°09'인 C-MOUNT 렌즈로 시야각이 너무 좁아 로봇의 수확 범위의 일부만만 영상에 나타난다. 이 문제점을 부분적으로 해결하기 위해 미니플레이터에 2대의 카메라를 20°만큼 뒀 방향으로 기울여 장착하였다(그림 1 참조).

2) 영상 신호 처리부(Image signal processing part)

컴퓨터를 이용한 영상처리를 위해서는 영상센서로부터 입력되는 아날로그 신호를 컴퓨터에서 처리할 수 있도록 수치화 된 정보로 바꿀 필요가 있다. 이러한 역할을 수행하는 것이 영상 데이터 입력 장

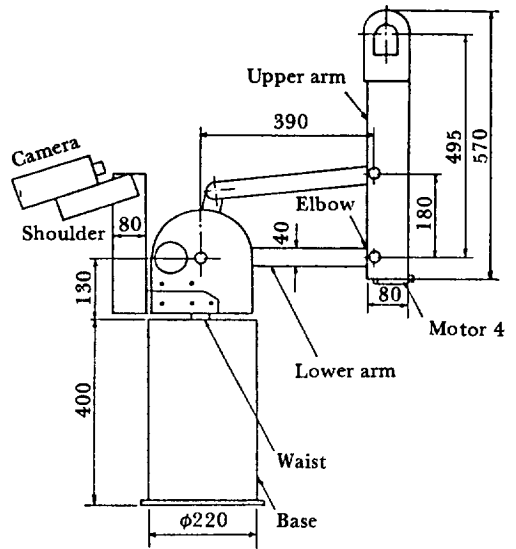


Fig. 1. Installation of camera on the manipulator.

치(image data acquisition system), 즉 영상 신호 처리부이다.

폐쇄 회로 TV 카메라에서 출력된 비디오 신호는 영상 처리용 인터페이스 보드에 의해 IBM PC/AT와 연결된다. 본 연구에 사용된 영상 처리용 인터페이스 보드는 PC VISION plus(IBM Compatible Single-Board Video Digitizer)로 내부 블록선도(Block diagram)는 그림 2와 같으며 기능에 따라 다음과 같이 나눌 수 있다.

- Video input interface
- Host computer interface
- Frame memory
- Display logic

이 영상 처리용 인터페이스의 원리는 다음과 같다. 폐쇄회로 TV 카메라로부터의 RS-170/330 비디오 입력 신호는 채널 1, 채널 2의 비디오 멀티플렉서(video multiplexer)를 통해 받아들여진다. 이 입력 신호의 드리프트를 방지하기 위해 DC restore 부를 지나 8 bit A/D 변환기(변환속도 100 nsec)에 입력되어 밝기에 따라 아날로그 신호를 256단계의 회색 등급(gray level)으로 디지털화된다. 이 디지털화된 영상 데이터는 frame memory의 입력과 출력 부분에 각각 8 개씩의 LUT(Look-up table) 부를 통하게 되는데, 이 LUT 동작에 의해 histog-

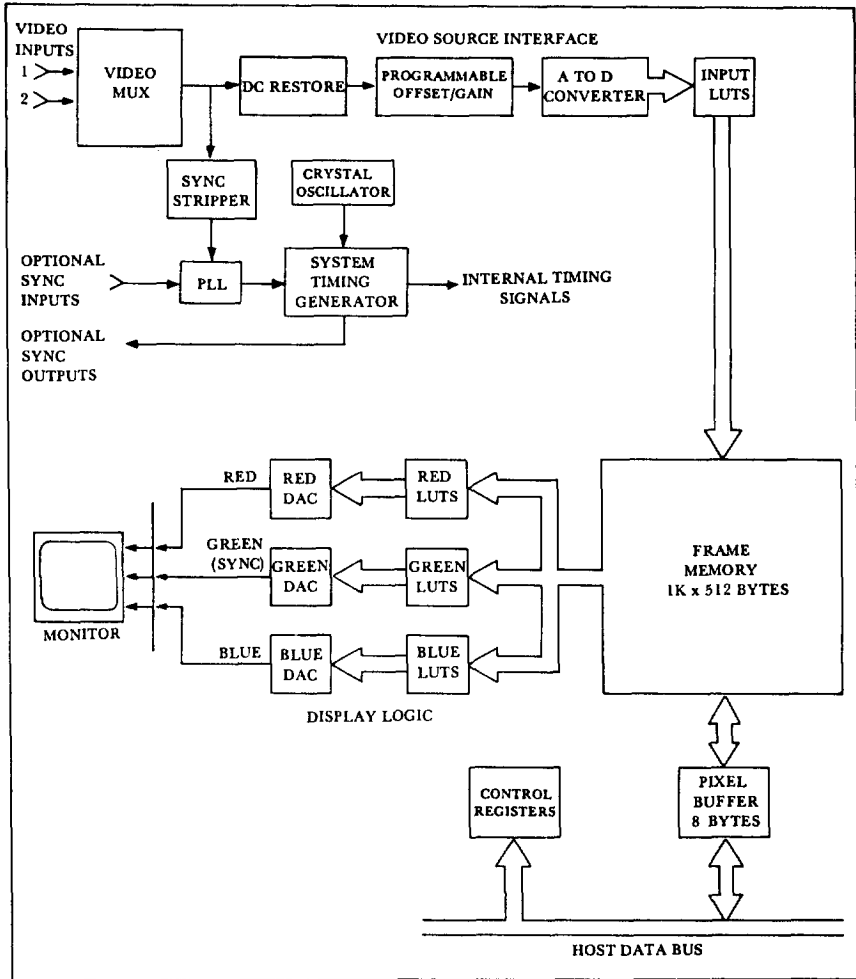


Fig. 2. Block diagram of PC VISION plus frame grabber.

ram modification, thresholding 등의 일차적인 조작을 위해 데이터의 변형없이 실시간으로 수행할 수 있으며 기본적인 데이터의 조작이 가능하다. A/D 변환기에 의해 디지털 신호로 바뀐 데이터는 frame memory에 1024×512 배열로 저장된다. 저장된 디지털 영상 데이터는 출력 LUT를 통하여 D/A 변환기에 입력되어 다시 아날로그 복합 동기신호로 바뀌어 비디오 모니터에 영상이 나타나게 된다.

나. 과실 위치 검출 기법

현재까지 화소(pixel)의 밝기 정보를 이용하는 분석, 즉 grayscale 영상을 분석하는데 있어서 많은 연구가 진행되어 왔다. 이러한 영상 분석방법

은 물체를 정확히 인식하는 장점이 있는 반면, 영상 해석시간이 상당히 길어 실시간 제어를 요하는 곳에서는 사용하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 간단한 영상 해석 알고리즘을 개발, 응용함으로써 실시간 제어가 용이한 2치(binary) 영상을 사용하였다.

폐쇄 회로 TV 카메라로부터 출력된 아날로그 비디오 신호는 CPU에 의해 발생하는 화상 전송 요구 신호에 의해 영상 처리용 인터페이스 보드에 입력되고 보드 내의 A/D 변환기에 의해 gray-scale의 디지털 신호로 변환된다. 이때의 gray-scale 영상에 histogram을 이용한 thresholding을 적용하

여 과실면의 2차 영상을 추출하고, 이 2차 영상에서 과실의 중심 위치를 계산에 의해 알아낸 다음 비디오 모니터에 과실의 중심 위치를 표시한 후, 과실의 3차원 위치를 얻어내는 방법을 사용하였으며, 그 구체적인 방법은 다음과 같다.

1) 위치 계산 알고리즘

과실의 위치 계산 알고리즘의 내용과 순서는 아래와 같다.

- (1) Baseline 만큼 떨어져 있는 2대의 카메라중에서 첫번째 카메라로부터 영상을 입력한다.
- (2) 얻어진 영상으로 과실을 인식해낸다.
- (3) 과실의 중심 위치를 계산에 의해 알아낸다.
- (4) 두번째 카메라로부터 영상을 입력한다.
- (5) (2), (3) 과정을 반복한다.
- (6) 두 영상 간에 과실의 위치 변화량에 의해 3차원의 거리 계산을 행한다.
- (7) 카메라의 좌표계와 모니터의 좌표계를 구성한다.
- (8) 원통 좌표계를 구성한다.

위와 같은 위치 계산을 수행하기 위한 컴퓨터 프로그램은 영상 처리 서브루틴과 그래픽 함수들의 표준 라이브러리(standard library)인 ITEX PC plus를 사용하여 작성하였다. ITEX PC plus는 목적 코드 라이브러리를 C language로 쓰여진 응용 프로그램과 접촉할 수 있도록 되어 있으므로 본 연구에서는 C language로 주프로그램과 여러 개의 알고리즘 함수들을 모듈별로 개발하였다. 그림3은 주프로그램의 흐름도를 나타낸 것이다.

2) 과실 인식

과실을 인식해서 중심 위치를 정확하게 알아내기 위해서는 먼저 과실과 배경으로 영상을 분리해야 한다. 영상분할(image segmentation)이란 주어진 영상에서 서로 공통적인 성질을 가진 부분으로 grouping하는 과정으로써 영상의 표현, 인식을 위해서는 가장 먼저 수행해야 하는 전처리 과정이다. 만일 영상 분할 과정을 정확하게 행하지 못하면 그 다음 단계인 중심 위치 계산에서 정확한 중심점을 얻지 못하게 된다. 영상 영역화를 위해서 지금까지 많은 방법들이 제안되고 있으나 입력 영상이 단순하므로 histogram을 이용한 thresholding 방법을

적용하였다.

Histogram은 한 화상에서 화소들의 빛의 밝기 분포를 나타내며, 화상의 특성에 대한 많은 정보를 제공하여 준다. 예를 들면 histogram의 분포가 좁은 영역에 분포된 화상은 low-contrast의 화상임을 알 수 있으며, 반대로 분포가 넓은 경우는 high-contrast의 화상임을 알 수 있다. 또한 histogram의 특성을 이용하여 한 화상의 histogram상의 peak 영역들의 중간에 위치한 valley에서 문턱 값(Threshold value)을 정하여 thres-holding하여 줌으로

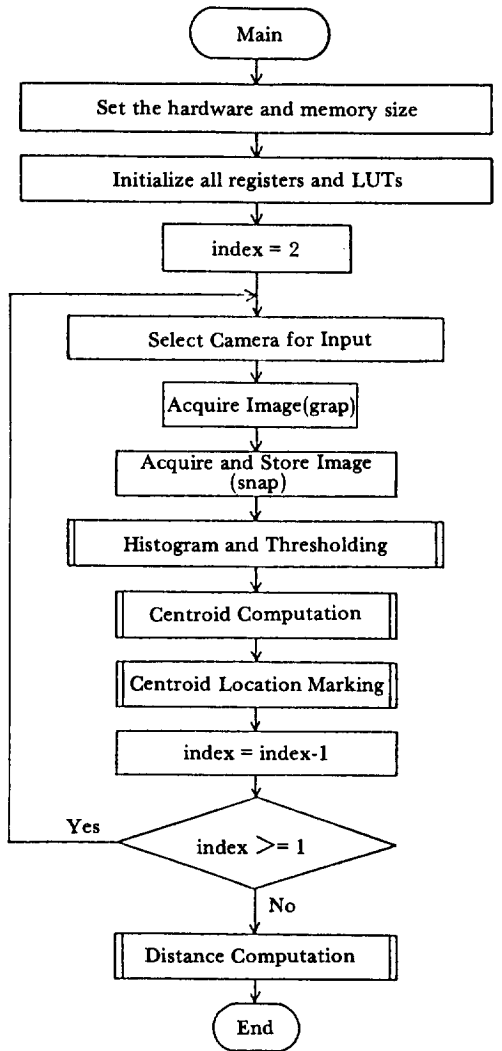


Fig. 3. Flow chart of the Main Program.

써 물체를 각각 독립적으로 분할해 낼 수 있다. 이 알고리즘의 적용 결과 나타난 화상은 그림 4 에 도시되어 있다.

Thresholding 은 크게 두가지로 구분되는데 각 화상점(pixel)의 회색 등급값 P(i, j)를 문턱값 I와 비교하여 I보다 크거나 같으면 '255', 그렇지 않

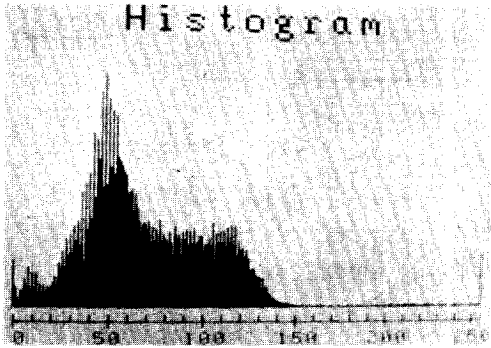


Fig. 4. Histogram of a fruit image.

으면 '0'으로 대체하는 global thresholding이 있고 영상이 작은 window 내의 각 화상점 값을 조사하여 화상점 값의 특성에 따라 문턱값이 결정되는 local thresholding이 있다. global thresholding은 A/D 변환기를 사용하여 hardware 적으로 해결할

수 있어 많은 계산이 필요한 local thresholding에 비해 속도가 빠른 장점이 있으나, 조명의 영향을 많이 받는 단점이 있다. 본 연구에서는 간단하고 속도가 빠른 global thresholding을 택하였다.

폐쇄회로 TV로부터 출력된 각 화상점의 아날로그 값은 A/D 변환기에 의해 디지털화 된 회색등급으로 분류되어 0~255 까지의 값을 갖게 된다. 이러한 회색등급 값에 Histogram을 통하여 적절한 문턱값 I*을 선정 함으로써 회색 등급값 0~(P*-I)까지를 갖는 화상점은 '0'으로, P*~255까지를 갖는 화상점은 '255'로 대체하여 gray-scale 영상으로부터 2차 영상 S를 얻어 낸다. 즉 S 내의 각 화상점의 값 P(i, j)는

$$P(i, j) = 255 \text{ if } I(i, j) \geq I^* \\ 0 \text{ otherwise} \dots\dots\dots(1)$$

이다. 이때의 문턱값 I*의 값이 255에 가까울수록 더욱 밝은 상이 나타나지만 반면에 노이즈의 영향이 많아지며 0에 가까워질수록 노이즈의 영향은 감소하나 선명치 못한 과실면의 화상이 얻어진다. 따라서 주위 환경이나 전자 회로에 의한 노이즈의 영향을 최소화하고 선명한 과실면의 화상을 얻기 위

[1]	[2]	[3]
[4]	[5]	[6]
[7]	[8]	[9]

1
2
3

Horizontal pixel
(Y 방향)

1 2 3

Vertical pixel (X 방향)

Number of pixed: N = 9

$$(X\text{-cent, } Y\text{-cent}) = \frac{[1]+[2]+[3]+[4]+[5]+[6]+[7]+[8]+[9]}{N} \\ = \frac{(1,1)+(2,1)+ \dots\dots\dots+(2,3)+(3,3)}{9} \\ = (2,2)$$

Fig. 5. Illustration of computing the centroid.

해서 이 문턱값 I*의 선택은 상당히 중요한 인자이다. I*의 값은 시행착오 방법에 의해 적당한 값을 선택하였다.

3) 과실의 중심점 위치

과실의 3차원 위치를 구하기 위해서는 정확한 과실의 중심점 위치의 계산이 필요하다. 과실의 중심점 위치를 찾아가기 위한 입력 데이터는 과실과 배경이 분리된 2차 영상 데이터를 사용하며, 이러한 2차 영상 데이터로부터 과실의 중심점을 구하는 알고리즘은 다음과 같다.

중심점 위치를 그림 5와 같이 (X_{cent}, Y_{cent})로 표시하면 X_{cent}와 Y_{cent}는 각각 과실에 속하는 pixel들의 x 방향 y 방향의 평균이 된다. 그러므로 중심점의 좌표(X_{cent}, Y_{cent})는 과실에 속하는 화상점들의 x 방향 및 y 방향의 합을 구한 후 과실에 속하는 화상점들의 갯수로 나눔으로써 구할 수 있다.

이와같이 중심점의 계산은 매우 간단한 연산을 통해 이루어질 수 있을 뿐만 아니라 렌즈축간의 흐려짐이나, 조명이나 문턱값의 흔들림 등의 외란에도 비교적 영향 받지않고 원스형상의 노이즈에도 강하므로 과실의 위치를 대표하는 값으로 적합하다.

그림 6은 중심 계산 알고리즘의 흐름도이고, 그림 7은 우측의 카메라에서 중심점의 위치를 구한 일례를 나타낸 것이다.

4) 두 영상간의 과실위치 변화량에 의한 위치 검출

(1) 거리 계산

과실의 3차원 위치의 검출은 사람이 두눈에 의하여 거리를 판단하는 것과 같은 원리인 스테레오 영상 방법(stereo-image processing)을 이용하였다. 이 스테레오 영상 방법은 일정 간격을 두고 서로 떨어져 있는 2대의 카메라로부터 얻은 두개의 영상 간의 목표물의 위치 변화량은 카메라로부터 목표물까지의 거리에 반비례하는 원리를 이용하였다(그림 8 참조).

본 연구에 사용된 폐쇄회로 TV 카메라는 축적 거리가 16mm이고, 촬상판 지름이 2/3인치인 C-MOUNT 렌즈를 사용하였다. 촬상판이 2/3인치인 경우 결상하면 치수는 약 8.8×6.6mm²이다. 이들

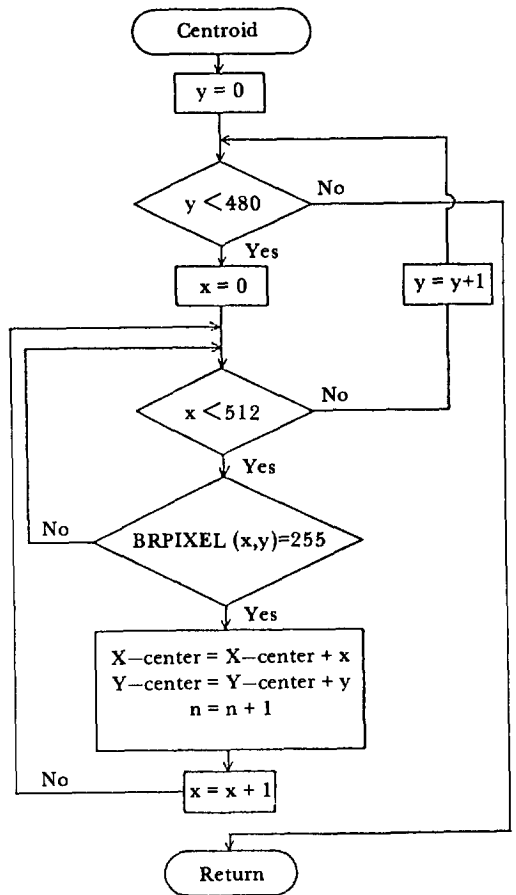


Fig. 6. Flow chart of the subprogram for determining the centroid of fruit.

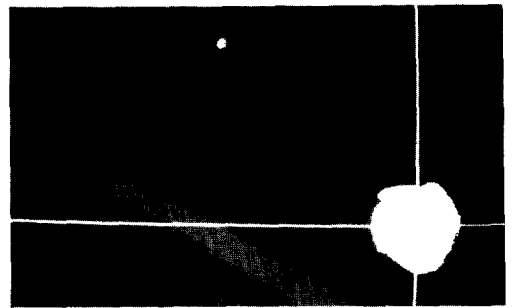


Fig. 7. Example of locating the centroid with the image of apple from the two cameras.

값을 사용하면 baseline(B=24cm) 만큼 떨어져 있는 두대의 카메라에서 영상을 입력한 후 두 영상간에 중심 위치 변화값, 즉 과실의 위치 변화량으로 거리계산을 행할 수 있다.

그림 8에서 보는 바와 같이 엮어놓은 영상에서

의 좌우 중심 위치 변화값은

$$\text{pixel} = \text{xcenter2} - \text{xcenter1} \dots\dots\dots(2)$$

이고, 가로 영상크기 0.88 cm는 화소수 512 개에 대

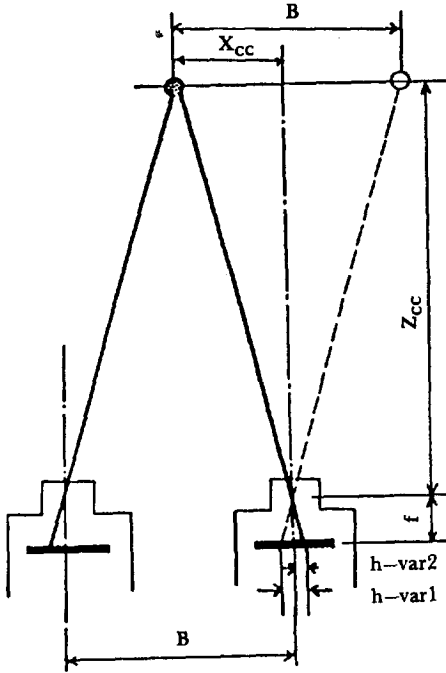


Fig. 8. Model of the stereo imaging process of determining the distance from the camera to the object.

응되므로 파실 위치 변화량은 h-var1은

$$h_var1 = \frac{\text{pixe1} \times 0.88}{512} \dots\dots\dots(3)$$

이다. 이 (2), (3) 식에 의해 카메라에서 파실까지의 거리 Zcc는

$$Z_{cc} = \frac{f \times B}{h_var1} \dots\dots\dots(4)$$

에 의해 구하였다. 여기서 f(=16mm)는 초점거리이다.

카메라 중심에서 횡방향(X축)으로의 거리 Xcc는

$$X_{cc} = \frac{Z_{cc} \times h_var2}{f} \dots\dots\dots(5)$$

에 의하여 구하였다. h var2는 그림 8에 나타난

바와 같이 촬상면 중심에서 상 중심까지의 거리이다. 카메라에 대한 종 방향(Y축)의 거리도 똑같은 방법에 의하여 구하였다. 이들 3축 방향의 거리 영상 결과는 소숫점 첫째자리까지 반올림하여 출력하도록 하였다.

(2) 카메라 좌표계와 머니플레이터 좌표계 구성

카메라는 앞에서 서술한 바와 같이 X축에 대하여 반시계 방향으로 20° 회전시켜 설치하였기 때문에 실제 카메라 좌표로의 변환이 필요하다. 이 변환은 두가지 방법으로 행하였는데 첫번째 방법은 그림 9, 10에 나타난 바와 같은 도식적인 방법으로서 카메라 좌표계(Xc, Yc, Zc)는 다음과 같이 표현된다.

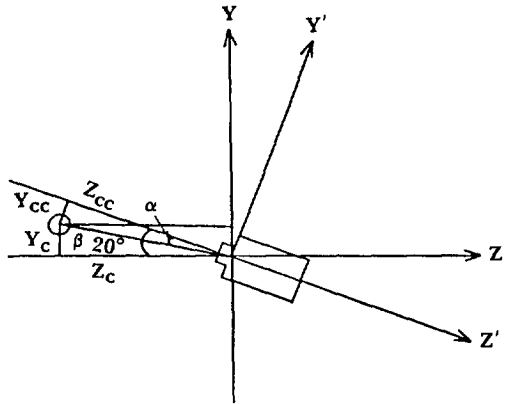


Fig. 9. Coordinates of the object when it is located above the center line of the inclined camera (Z'-axis).

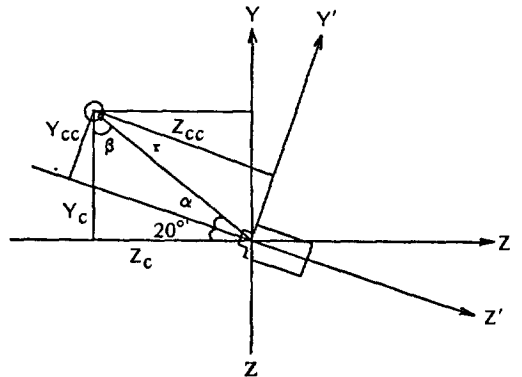


Fig. 10. Coordinates of the object when it is located above the center line of the inclined camera (Z'-axis).

$$X_c = X_{cc} \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$Y_c = r \times \cos \beta \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$Z_c = r \times \sin \beta \quad \dots\dots\dots(8)$$

여기서, $r = \sqrt{(Y_{cc}^2 + Z_{cc}^2)}$

$$\alpha = \text{atan}(Y_{cc}/Z_{cc})$$

$\beta = 90^\circ - (20^\circ + \alpha)$: 과실이 카메라 시계 중심선의 위에 있는 경우

$90^\circ - (20^\circ - \alpha)$: 과실이 카메라 시계 중심선의 아래에 있는 경우

두번째 방법은 rotation matrix를 이용하는 방법으로 유도 과정과 카메라 좌표계(X_c, Y_c, Z_c)는 다음과 같이 표현된다.

$$R = \text{Rot}(x, 20^\circ) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 20^\circ & -\sin 20^\circ \\ 0 & \sin 20^\circ & \cos 20^\circ \end{bmatrix} \quad \dots\dots(9)$$

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_{cc} \\ Y_{cc} \\ Z_{cc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 20^\circ & -\sin 20^\circ \\ 0 & \sin 20^\circ & \cos 20^\circ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{cc} \\ Y_{cc} \\ Z_{cc} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{cc} \\ Y_{cc} \cos 20^\circ - Z_{cc} \sin 20^\circ \\ Y_{cc} \sin 20^\circ + Z_{cc} \cos 20^\circ \end{bmatrix} \quad \dots\dots(11)$$

머니플래터의 좌표계(X_r, Y_r, Z_r)는 다음 식과 같이 간단히 구성된다. 단 여기서 단위는 cm이다.

$$\begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_c + 12 \\ Y_c + 18.5 \\ Z_c + 20 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(12)$$

5) 원통 좌표계 구성

머니플래터 중심에서 과실까지의 위치를 그림 11에 나타낸 바와 같이 원통 좌표계(r, θ, z)에 의하여 머니플래터가 과실 수확 위치를 알 수 있도록 하였다. 원통 좌표계(r, θ, z)는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} r \\ \theta \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{(X_r^2 + Y_r^2 + Z_r^2)} \\ \text{asin}(X_r/\sqrt{(X_r^2 + Z_r^2)}) \\ Y_r \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(13)$$

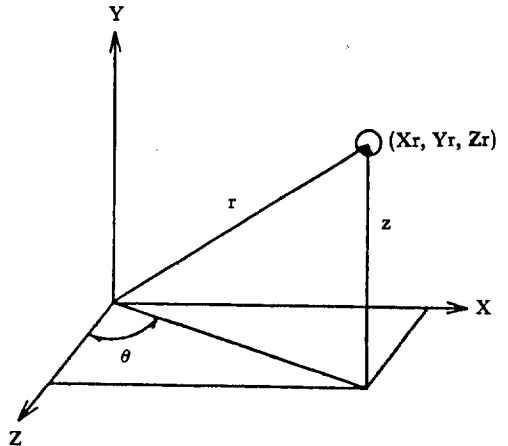


Fig. 11. Cylindrical coordinate.

다. 實驗方法

본 연구에서 개발한 과실위치 검출 시스템의 정확도를 위한 실험은 실험실 내에서 사과를 대상으로 수행하였다. 머니플래터의 수확 가능 범위에 있고, 또한 두개의 카메라로부터 영상 입력이 가능한 공간 내에 사과를 위치시키고 실측에 의한 실제의 위치와 화상 처리 시스템에 의하여 얻은 위치를 비교하여 정확도를 검정하였다.

과실의 배경은 노이즈를 줄이기 위하여 검은 색으로 처리하였다. 또한 광원의 밝기나 위치 등에 의한 광 환경이 변화하면 배경에 의한 반사, 그림자 및 low-contrast 등과 같은 원인으로 인하여 중심점 위치의 검출에 영향을 미치므로 카메라의 측정 시야에서 균일하게 조명될 수 있도록 광원과 배경을 설치하였다.

4. 實驗結果 및 考察

가. 位置 檢出

본 실험에서는 조명의 밝기나 위치가 과실 위치의 검출 정확도에 많은 영향을 미치는 변수로 작용하였으므로 되도록 과실 가까이에서 균일하게 조명 되도록 하였고, 과실과 배경은 색깔의 차이에 의해

서가 아니라 밝기의 차이에 의해서 구별될 수 있다고 가정하였다.

이와같은 조건하에 실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 카메라에서 영상을 입력하여 영상 처리 알고리즘에 의해 과실의 3차원 위치 좌표값을 얻는데 소요되는 시간은 대략적으로 측정해 본 결과 최대 2분 정도 소요되었다. 이 소요시간은 실제 과실 수확을 위해서는 적합하지 못하기 때문에 데이터량을 최대한으로 줄이는 연구를 통해 소요시간을 단축하여야 한다.

2) 카메라 좌표(X_c, Y_c, Z_c)를 구성하기 위해 도시적인 방법과 rotation matrix를 이용한 방법으로 실험을 행하였다. 이론에 의하면 이 두가지 방법에 의해 계산된 카메라 좌표값은 같아야 하나, 예비 실험 결과 rotation matrix를 이용한 방법이 오차가 더 크게 나타났다.

3) 카메라로부터 과실까지 위치의 실측치와 검출된 위치의 오차는 평균적으로 X축 방향은 약 0.8cm, Y축 방향은 약 1.2cm, Z축 방향은 약 1.2cm로 나타났으며, 최대 오차는 X축 방향은 약 2.6cm, Y축 방향은 약 3.6cm, Z축 방향은 약 3.5cm로 나타났다.

나. 問題點

본 연구를 수행하는 동안 발생한 문제점은 다음과 같다.

1) 과실의 위치를 검출하기 위한 영상 처리 알고리즘은 실시간 동작을 위해서 계산량이 적고 단순한 알고리즘을 구현하여야 하나, 영상 데이터량이 너무 방대하고 개발된 알고리즘의 특성상 실시간 동작이 어려웠다.

2) Thresholding을 행한 후 영상에 노이즈가 나타나는데 노이즈가 산만하게 분포하고 있는 경우가 많아 실제 수확 작업에 적용시 과실과 배경의 분리가 큰 문제로 작용하게 될 것이다. 따라서 신속한 알고리즘의 구현을 위해서는 카메라에 필터를 사용하여 과실의 화상만 입력하게 하여 배경을 분리하는 것이 바람직하다.

3) 화면의 중심에서 먼곳에 과실이 위치한 경우

에는 카메라 영상신호의 드리프트에 의하여 영상이 일그러지는 경향이 나타나 오차가 생기는 원인이 되었다.

4) 머니플레이터의 동작 특성상 근접촬영을 행했으나, 사용한 카메라가 일반적으로 많이 쓰이는 세체회로 TV용이기 때문에 시야각이 너무 좁아 한 화면에 과실이 차지하는 비율이 상대적으로 너무 커져 비록 문턱값을 조정하여 thresholding을 하여도 과실과 배경 분리가 정확하지 않아 중심값에 오차가 생김으로 해서 거리 계산에 정확성이 떨어진다. 과실 수확을 위해서는 카메라의 시야각이 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 정도가 바람직하다고 판단된다.

5) 카메라는 머니플레이터에 장착해야 하기 때문에 필히 소형, 경량일 필요가 있다. 따라서 소형, 경량, 고신뢰성, 저소비 전력, 저전압 등 많은 잇점이 있는 고체 촬상소자로 전환되는 것이 바람직하다고 판단된다.

5. 要約 및 結論

농업용 과실 수확용 로봇트의 개발을 목표로 영상처리 기법을 도입하여 수확하려는 과실을 인식하고 3차원 위치를 검출하는 연구를 행한 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 로봇트에 의한 과실 수확을 목표로 과실의 위치를 포착, 감지하기 위해서 세체회로 TV 카메라, 영상 처리 보드 및 마이크로컴퓨터로 영상 처리 시스템을 구성하고, 스테레오 영상 방법을 이용한 연산에 의해서 과실의 3차원 위치를 검출하는 영상 처리 알고리즘을 개발하였다.
2. 연속적인 명암을 갖는 gray-scale 영상에서 과실을 인식하기 위해 histogram을 그린 후 thresholding 방법을 적용함으로써 과실의 형태에 근접한 화상을 도출할 수 있었으며, 과실의 중심점 위치를 찾기 위해서 계산량을 최대한으로 줄일 수 있는 단순한 알고리즘을 제시하였으며, 스테레오 영상 방법에 의해 과실의 3차원 위치정보를 얻을 수 있었다.
3. 개발된 영상 처리 알고리즘을 이용하여 기초실

험을 한 결과 과실의 3차원 위치 검출 오차가 다소 큰 편이어서 앞으로 계속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

參 考 文 獻

1. 류관희, 노상하, 김동우. 1988. 과실 수확 로봇트에 관한 연구(I) -머니플레이터와 제어시스템 개발-. 한국농업기계학회지 13(2) : pp. 9-17.
2. 이상욱 외. 1987. "형상 인식 및 추적 기술 개발 연구", 과학 기술처.
3. A. Gran d'Esnon. 1985. "Robotic Harvesting of appels, In: Proceeding of Agrimation 1", published by the ASAE and SME, ASAE, St. Joseph, MI., pp.210-214.
4. Fu, K.S., R.C. Gonzalez, and C.S.G. Lee. 1987. "Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence", New York: McGraw-Hill. pp.296-327.
5. ITEX PC plus Programmer's Manual. 1987. Imaging Technology Inc.
6. Kawamura, N. et al. 1985. "Measure-

- ment of Fruit Location by MOS Type Color TV Camera and Fundamental Experimental of Fruit Harvesting", JASM 47(2), 177-182.
7. Kawamura, N. and N. Kondo. 1985. "Fruit Detecting Experiment and Simulation by Computer", JASM 47(1): 60-65.
8. Otsu, N., 1979. "A Threshold Selection Method from Gray Level Histograms", IEEE Trans. Syst., Man, and Cyborn., Vol. SMC-9, No. 1, pp.62-66
9. Parrish, E.A., Jr. and A.K. Goksel. 1977. "Pactorial Pattern Recogintion Applied to Fruit Harvesting", TRANSACTIONS of the ASAE 20(5): 822-827.
10. Slaughter, D.C. and R.C. Harrell. 1987. "Color Vision in Robotic Fruit Harvesting", TRANSACTIONS of the ASAE 30 (4): 1144-1148.
11. Whitter, A.D., G.E. Miles, O.R. Mitchell, and L.D. Gaultney. 1987. "Fruit Location in a Partially Occluded Image", TRANSACTIONS of the ASAE 30(3): 591-596.

(79페이지에서 계속)

"A Similitude of an Unpowered Pneumatic Tire." Trans. of the ASAE 11: 673-676.

11. Schafer, R.L., D.R. Freitag and R.D. Wismer. 1970. "Similitude Studies of Soil-Machine System." Journal of Ter-

ramechanics, Vol.7, No.2:25-59.

12. Schafer, R.L., D.R. Freitag and R.D. Wismer. 1973. "Distortion in the Similitude of Soil-Machine Systems." Journal of Terramechanics, Vol.9, No. 2:33-63.