

원격작업 지시를 이용한 생물산업공정의 생력화 (I)

— 대상체 인식 및 3차원 좌표 추출 —

Automation of Bio-Industrial Process Via Tele-Task Command (I)

— Identification and 3D coordinate extraction of object —

김시찬	최동엽	황 현
정희원		정희원
S. C. Kim	D. Y. Choi	H. Hwang

SUMMARY

Major deficiencies of current automation scheme including various robots for bioproduction include the lack of task adaptability and real time processing, low job performance for diverse tasks, and the lack of robustness of task results, high system cost, failure of the credit from the operator, and so on. This paper proposed a scheme that could solve the current limitation of task abilities of conventional computer controlled automatic system. The proposed scheme is the man-machine hybrid automation via tele-operation which can handle various bioproduction processes. And it was classified into two categories. One category was the efficient task sharing between operator and CCM(computer controlled machine). The other was the efficient interface between operator and CCM.

To realize the proposed concept, task of the object identification and extraction of 3D coordinate of an object was selected. 3D coordinate information was obtained from camera calibration using camera as a measurement device. Two stereo images were obtained by moving a camera certain distance in horizontal direction normal to focal axis and by acquiring two images at different locations. Transformation matrix for camera calibration was obtained via least square error approach using specified 6 known pairs of data points in 2D image and 3D world space. 3D world coordinate was obtained from two sets of image pixel coordinates of both camera images with calibrated transformation matrix.

As an interface system between operator and CCM, a touch pad screen mounted on the monitor and remotely captured imaging system were used. Object indication was done by the operator's finger touch to the captured image using the touch pad screen. A certain size of local image processing area was specified after the touch was made. And image processing was performed with the specified local area to extract desired

The article was submitted for publication in December 2000, reviewed in January 2001, and approved for publication by the editorial board of KSAM in February 2001. The authors: S. C. Kim and H. Hwang in the Dept. of Bio-Mechanics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea; D. Y. Choi, in the Dept. of Automated Manufacturing and Control, Daelim College, Korea.

The corresponding author is H. Hwang, Professor, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Faculty of Life Science & Technology, Sungkyunkwan University, Kyungki-do, Suwon-si, Changan-gu 440-746, Korea. E-mail:<hhwang@yurim.skku.ac.kr>.

features of the object. An MS Windows based interface software was developed using Visual C++6.0. The software was developed with four modules such as remote image acquisition module, task command module, local image processing module and 3D coordinate extraction module.

Proposed scheme showed the feasibility of real time processing, robust and precise object identification, and adaptability of various job and environments through selected sample tasks.

Keywords : Tele-task command, Man-machine interface, 3D coordinate extraction, Local image processing, Object identification.

1. 서 론

최근, 작업환경이 가변적이고 작업 대상체의 외관 형상 및 내부 품질 특성이 정형화되어 있지 않은 생물생산 작업의 생력화를 위한 연구 개발이 세계적으로 활발히 진행되고 있다(Kondo와 Ting, 1998). 이러한 연구 개발에 있어 산업용 로봇 기술을 이용한 시스템 구동 및 제어, 컴퓨터 영상처리, 초음파 및 레이저를 이용한 영역 추출과 환경 인식, 바이오 센서를 이용한 대상체 특성 파악, 신경회로망, 퍼지추론 및 전문가 시스템 등의 인공지능을 이용한 정보처리 기술 등이 중요한 역할을 하고 있다. 언급한 기술들은 가변적이고 복잡한 작업환경과 애매 모호한 특성을 갖는 생물학적 대상체를 취급하는 생물생산 작업 공정의 생력화에 있어 기술적인 가능성을 제시하여 왔으나, 많은 경우 실제 작업에 적용하는데 있어서는 기술적인 측면에서 그리고 전반적인 효율성 측면에서 한계점을 표출해 왔다.

생물생산 작업을 수행하는 작업자의 역할을 기능적 측면에서 단순화하면 다음의 세 가지로 분류할 수 있다. 작업계획, 작업수행 및 작업예측, 작업상태 감시 및 작업성 판단 등을 총괄하는 뇌의 정보처리 기능과 작업상태와 주변 환경정보 획득을 위한 시각, 촉각, 후각, 미각, 청각 등의 감각기관을 이용한 정보 획득기능 그리고 마지막으로 뇌의 정보처리 결과에 의하여 동작하는 신체의 관절 및 근육 등의 구동기능이다.

생물생산 공정의 생력화를 위하여 요구되는 언급한 작업자의 여러 기능에 있어서, 부분적으로는 인간의 작업기능을 대체할 수 있는 시스템이 개발되었다. 하지만, 작업계획, 적절한 작업수행 및 작업예측, 작업상태의 감시 및 작업성의 판단 등을 총괄하는 뇌의 정보처리 기능에 있어서는 컴퓨터

하드웨어와 소프트웨어 기술의 급속한 발달에도 불구하고 아직은 요원한 실정이다. 이러한 시점에서, 생물생산 작업의 생력화를 위한 기술 개발 연구는 생물생산 작업에 있어 작업자를 완전히 대체하기보다는 작업자의 작업 편이성을 높여 전반적인 작업 생산성을 높이는 방향으로 수행되어야 한다. 이는 작업자가 작업수행을 하는데 있어 쉽게 작업피로를 느끼고 작업하기 꺼려하는 부분을 대체하는 시스템을 개발하는 것을 포함하며, 한편으로는 작업자의 작업 편이성 즉 뇌의 기능과 감각기능 그리고 구동기능을 원활하게 수행할 수 있도록 보조하는 시스템 기술의 개발이 필요하다는 것을 의미한다.

특히, 시스템 개발을 통한 작업보조 및 부분적 작업 대체에 있어서, 작업자가 쉽게 할 수 있는 그리고 기능적으로 기존의 컴퓨터 기술보다는 월등한 기능을 보이는 부분에 대해서는 작업자의 도움을 받고 단순 반복 운동 또는 인간의 정보처리 특성상 구현하기 어려운 정밀도가 관여된 부분에 대해서는 컴퓨터-기계시스템으로 대체하는 것이 필요하다. 즉, 현장 적용성을 고려한 생물생산 작업의 생력화를 위해서는 첫째, 작업자와 컴퓨터-기계간의 효율적·작업 배분이 필요하다. 둘째, 효율적 작업배분을 능률적으로 수행하기 위한 작업자와 컴퓨터-기계 시스템 사이의 편리한 작업 인터페이스 구축이 필요하다.

본 논문에서는 생물생산 작업의 생력화를 위하여, 작업자와 컴퓨터-기계 사이의 효율적 작업배분과 작업인터페이스 구축 개념을 컴퓨터 영상처리를 이용한 대상체의 인식 및 대상체의 3차원 좌표 측정이라는 과제로 접근하였다. 생물생산 작업을 생력화하는데 있어 많은 공정들이 컴퓨터 영상처리 기술을 이용하고 있으며 특히, 3차원 공간내의 대상체를 취급하거나 조작하는 데 있어서는 대

상체의 인식 및 인식한 대상체의 정확한 위치 정보 즉, 3차원 좌표 추출이 요구된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기존의 접근 방법은 컴퓨터에 의한 영상처리 기술에 전적으로 의존함으로써 대상체를 인식하는 과제인 경우, 복잡한 작업 환경 하에서는 실시간 영상처리가 어렵고 가변적인 주변 환경과 대상체의 애매 모호성으로 인하여 인식 정밀도의 안정성 확보가 문제가 되고 있다.

하지만, 이러한 문제는 작업자와 컴퓨터-기계의 작업배분과 효율적 인터페이스를 통하여 쉽게 해결할 수 있다. 즉 작업자의 도움을 통하여 대상체 인식에 대한 안정성과 강건성을 확보하고 컴퓨터-기계 시스템의 정밀성을 조합하는 방법으로 문제를 해결할 수 있다. 작업자와 컴퓨터-기계 시스템간의 인터페이스는 원격 영상과 터치패드를 이용한 간편한 입출력 방식으로 해결할 수 있다. 복잡하고 가변적인 작업 환경과 대상체의 애매 모호성 문제는 작업자가 원격으로 송신되는 유무선 영상을 통하여 지시함으로써 해결할 수 있다. 보다 정밀하게 작업대상체를 인식하고 작업대상체의 위치좌표를 추출하는 것은 컴퓨터-기계 시스템이 수행하는 것이다.

본 논문에서는 원격영상 시스템과 터치패드를 이용한 작업지시 입출력 방식을 구축하였고 3차원 작업공간내의 작업대상체를 인식하고 3차원 공간 좌표를 추출하는 시스템을 개발하였다. 또한, 작업자와 컴퓨터-기계간의 작업배분 및 인터페이스를 통한 작업 적응성을 구현하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 작업대상체의 3차원 좌표를 추출하기 위하여 1개의 카메라를 카메라 초점을 지나 는 중심 축에 수직인 방향으로 수평 이동시켜 두 개의 영상을 획득할 수 있도록 하였다. 그리고 대상체의 정보를 추출하기 위하여 작업자가 대상체를 편리하게 지시할 수 있도록 터치 스크린을 구축하였다. 측정하고자 하는 대상체의 3차원 공간 좌표를 검증하기 위해 선분 길이 5cm의 +형 표시를 도시한 샘플 영상 입력판을 설치하여 카메라의 중심축을 따라 전후 이동이 가능하도록 하였다. 두 대의 카메라로부터 얻어지는 기하학적 관계를 이용한 카메라로부터 대상체까지의 거리 측정은

카메라 장착에 따른 오차, 카메라 렌즈 등 내부 파라미터에 의한 오차 및 sinusoidal 함수의 각도에 대한 민감성으로 인하여 배제하였다(Hwang et al, 1998). 대신, 3차원 거리 측정을 위하여 카메라 자체를 측정장치로 사용하여 샘플 영상 입력판을 전후로 이동하여 얻어지는 영상으로부터 카메라 보정을 수행하였다.

가. 3차원 영상좌표 추출 시스템

본 연구에 사용한 시스템의 구성은 그림 1과 같다.

3차원 영상좌표 추출 시스템은 카메라 이동 시스템 및 제어부, 영상처리 및 분석부, 영상표시 및 작업지시부, 샘플 영상입력판으로 구성하였다. 한 개의 카메라를 이용하여 스테레오 영상을 획득하기 위하여 카메라 이동 시스템은 일정 간격으로 카메라를 이동시킬 수 있도록 2상 스텝모터 및 볼 나사(5mm 리드)를 이용한 가이드로써 구축하였다. 카메라의 정밀한 위치 이동을 위하여 스텝모터 제어부 및 구동기는 원칩 마이크로 프로세서(Intel 8051) 및 정전류 구동 하이브리드 IC(Toshiba TA8435)를 이용하여 마이크로 스텝핑(8분할 동작) 동작 및 가, 감속 동작을 할 수 있도록 하였다.

영상처리 및 분석부는 컬러 CCD 카메라(CV-950, Pulnix), 칼라 프레임그래버(Bandit, Coreco사), IBM PC 호환 컴퓨터로 구성하였으며, 카메라는 카메라 이동시스템의 상단 이동부에 장착하였다. 영상표시 및 작업지시부는 15" 컬러 모니터의 전면에 터치 패널(IntelliTouch, ELO Touch사)을 장착하여 기준영상 및 이동영상을 동시에 표시하게 하였다. 샘플 영상입력판은 카메라 이동시스템의 이동방향에 수직이 되게 알루미늄 프로파일을 설치하여 부착하였고 프로파일을 따라 이동할 수 있도록 구축하였으며, 측정하고자 하는 대상물의 영상을 설치할 수 있게 하였다.

나. 영상 보정을 이용한 3차원 좌표 추출 알고리즘

본 논문에서는 스테레오 시각 즉 두 개의 입력 영상의 기하학적 상관관계를 이용하여 거리를 측정하지 않고 카메라 자체를 하나의 측정장치로 사

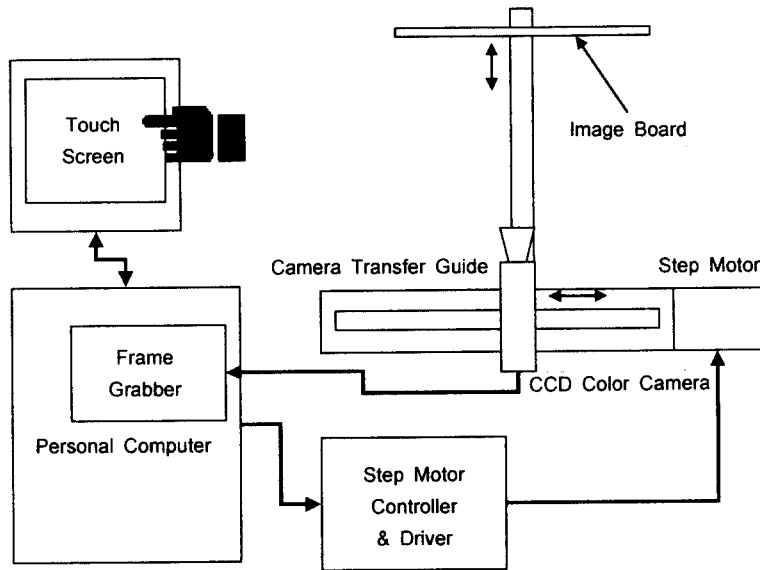


Fig. 1 Schematic diagram of functional block of tele-task system via machine vision.

용하여 같은 평면에 존재하지 않는 기지의 6점에 대한 영상 정보를 가지고 실제의 3차원 공간 좌표를 추출하는 방법을 사용하였다. 두 개의 카메라를 사용한 입력영상의 기하학적 상관관계를 이용하는 경우에는 카메라 장착의 정밀성 그리고 카메라내의 입력 영상프레임의 자세 및 작업 대상체와의 수직성 그리고 초점거리 등 카메라 자체의 내부 파라미터에 의존하는 단점이 있다.

1개의 카메라를 이용하여 거리정보를 알고 있는 기지의 6점에 대한 영상을 1차 획득하여 화소좌표를 영상평면에서 측정하였고 카메라를 일정거리 수평 이동한 후 같은 대상체에 대하여 2차로 영상을 획득하여 화소좌표를 영상평면에서 측정하였다. 2차원 영상 좌표계와 3차원 기준 좌표계를 대응시킴으로써 카메라 거리 보정을 실시하였다.

Hwang 등(1998)의 카메라 보정식으로부터 카메라 1(카메라를 수평이동하기 전의 카메라)의 영상 좌표와 공간상의 월드좌표 변환식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 &(A_{11}-A_{41} U_i)X_i + (A_{12}-A_{42} U_i)Y_i + (A_{13}-A_{43} U_i)Z_i \\
 &= U_i - A_{14} \\
 &\Rightarrow \alpha_1 X_i + \alpha_2 Y_i + \alpha_3 Z_i = \tau_1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &(A_{21}-A_{42} V_i)X_i + (A_{22}-A_{42} V_i)Y_i + (A_{23}-A_{43} V_i)Z_i \\
 &= V_i - A_{24} \\
 &\Rightarrow \alpha_4 X_i + \alpha_5 Y_i + \alpha_6 Z_i = \tau_2 \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

또한 일정 거리를 이동한 지점에서의 카메라 2의 변환식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 &(B_{11}-B_{41} U_i)X_i + (B_{12}-B_{42} U_i)Y_i + (B_{13}-B_{43} U_i)Z_i \\
 &= U_i - B_{14} \\
 &\Rightarrow \beta_1 X_i + \beta_2 Y_i + \beta_3 Z_i = \tau_3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &(B_{21}-B_{42} V_i)X_i + (B_{22}-B_{42} V_i)Y_i + (B_{23}-B_{43} V_i)Z_i \\
 &= V_i - B_{24} \\
 &\Rightarrow \beta_4 X_i + \beta_5 Y_i + \beta_6 Z_i = \tau_4 \dots\dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

식 (1)과 식 (2)를 행렬로 표현하면 다음과 같으며,

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ \alpha_4 & \alpha_5 & \alpha_6 \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 \\ \beta_4 & \beta_5 & \beta_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

$$C \quad W = T \dots\dots\dots (4)$$

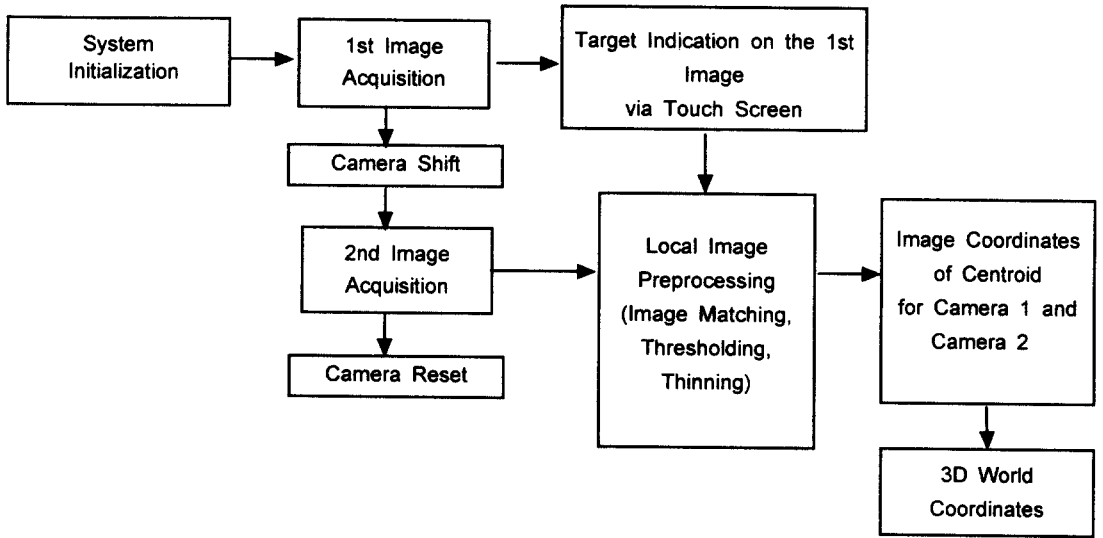


Fig. 2 Flow chart of 3-D coordinate measurement of tele-task system.

각각의 행렬을 간단히 표현하면, 식(4)와 같으며, C 행렬의 요소 A_{ij} 와 B_{ij} 는 Hwang 등(1998)에 기술한 3차원 좌표의 2차원 영상 변환에 따른 보정으로 구한다. 즉 C와 T는 카메라의 보정 후 얻을 수 있는 값이 되며 W는 이 값들을 이용하여 식(5)로써 구할 수 있다.

$$W = \{(C^T C)^{-1} C^T\} T \dots\dots\dots (5)$$

$$W = P T \dots\dots\dots (6)$$

공간상에 있는 임의의 점 W의 좌표는 두 개의 카메라 영상으로부터 얻어지는 U, V 화소점에 대한 화소좌표와 카메라 보정에 따라 얻어지는 A_{ij} 와 B_{ij} 로써 식 (6)에 대입하여 구할 수 있다.

다. 3차원 좌표 측정 시스템 소프트웨어

카메라에 대한 영상 보정식을 세우고 이를 기준으로 대상체에 대한 3차원 좌표를 손쉽게 측정하기 위하여 그림 2와 같은 기능을 가지는 측정 소프트웨어를 개발하였다. 시스템 소프트웨어는 Visual C++6.0을 사용하여 그림 3과 같이 윈도우 기반에서 운용되게 하였으며, 기능은 크게 영상 획득, 작업대상체 지시, 이치화, 세션화, 3차원 기준

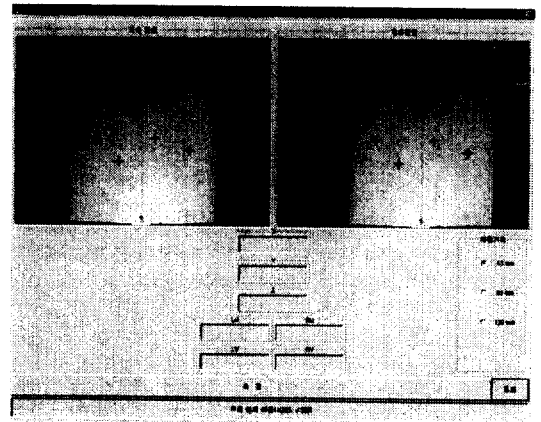


Fig. 3 MS Window based software for identification and 3-D coordinate extraction of an object.

좌표계로의 변환 등의 5단계로 구분하여 구축하였다.

라. 대상체 검출 및 3차원 정보추출 알고리즘

작업지시에 의하여 대상체를 인식 검출하는 과정을 모의 시험하기 위하여 토마토에 대한 컬러

이미지를 획득하여 샘플영상처리 판에 부착하여 작업자와 컴퓨터-기계간의 작업분할을 수행하였다. 대상체의 인식을 위한 작업지시 및 인식은 모니터에 부착한 터치스크린을 이용하여 윈도우 기반에서 개발한 원격 영상처리 작업 프로그램을 이용하였다.

원격 입력영상으로부터 대상체를 인식한 작업자가 터치 스크린을 통하여 대상체를 지시하면 작업자가 지시한 터치(touch)점을 중심으로 일정 국부작업 영역이 설정된다. 이러한 영역 설정은 작업 대상체의 크기 및 입력되는 전체 영상에서 작업 대상체가 갖는 영역의 크기에 따라서 결정되며, 영역내에 반드시 대상체가 있다는 가정을 하게 된다. 국부영상처리 영역으로써 정방향의 영상처리 공간(50×50 화소)을 할당한다. 할당 영역에 대하여 영상정보(RGB)를 HSI 정보로 변환하거나, R 또는 G frame 영상을 이용한 이치화 그리고 다양한 전처리 및 체인코딩 등 대상체 분할 과정을 통하여 대상물을 검출한다.

본 논문에서는 토마토의 추출을 위한 최적 영상처리 알고리즘을 개발하기 보다는 작업개념의 구현에 중점을 두고 전처리 과정에서 히스토그램 평활, 이치화, 미디언 필터(Median filter), 소벨(Sobel) 연산자, 세션화 알고리즘들을 수행하여 대상체를 추출하였다.

대상물이 검출되면 화소의 방향벡터를 이용하여 대상체의 영상영역을 대략적으로 복원하고 대상체

의 중심점을 구한 후 중심점에 대한 3차원 정보를 추출한 후 작업대상체의 거리 정보와 대상체의 2차원 영상정보를 이용하여 Hwang 등(1998)이 기술한 방법에 의하여 대상체의 2차원 정보로부터 투영면상의 3차원 실측 정보를 산출하게 된다. 대상체의 2차원 영상정보에 의거한 크기를 보다 정밀하게 산출하기 위해서는 카메라로부터 입력되는 2차원 입력영상의 렌즈 왜곡 및 모니터 상의 왜곡 등을 보정해야 한다(이충호, 황 현, 1992). 하지만, 입력영상의 왜곡정도가 요구되는 작업 정밀도에 비하여 미소하여 본 연구에서는 생략하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구를 위하여 제작한 3차원 좌표 측정 시스템은 카메라를 카메라 중심 축에 대하여 수평으로 (y축) 120mm 이동하여 영상을 획득하도록 하였으며, 샘플 입력 영상판의 길이(distance)는 카메라 렌즈에서부터 530mm를 기준으로 100mm씩 증가시켰다. 1,030mm까지 얻은 6개 샘플점 들에 대한 영상좌표와 기준 좌표계의 정보들을 사용하여 3차원 거리 측정보정을 수행하였다. 식 (6)의 2차원 입력 영상에 대한 3차원 좌표변환 행렬 P는 다음과 같았다.

$$P = \begin{bmatrix} -46.8242 & 1.7471 & 21.8443 & 5722.2133 \\ -1.6293 & -45.5356 & 16.7585 & 63.8888 \\ -0.0054 & 0.0041 & 0.1688 & 1.0 \end{bmatrix}$$

Table 1 Error between world and computed coordinates of sample points from two images acquired from 120mm shift of the camera (unit : mm)

Node	World Coord.			Computed Coord.			Absolute Error		
	x	y	z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
1	50	-75	530	50.01	-75.08	530.46	0.01	0.08	0.46
2	75	75	630	75.11	75.03	629.23	0.11	0.03	0.77
3	-25	-25	730	-25.00	-25.00	729.02	0.00	0.00	0.98
4	-50	50	830	-50.02	51.19	828.42	0.02	1.19	1.58
5	75	75	930	75.21	76.12	933.50	0.21	1.12	3.50
6	-25	-25	1,030	-23.70	-24.28	1,024.13	1.30	0.72	5.87

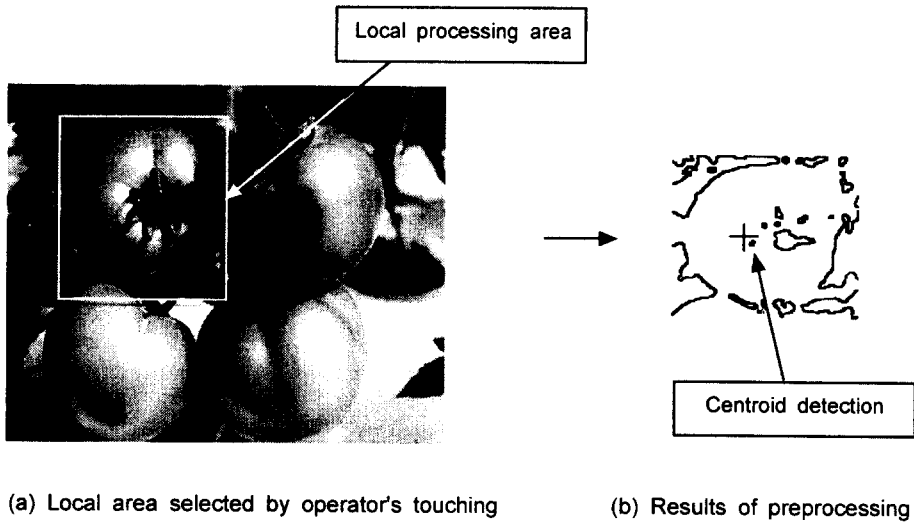


Fig. 4 Local image processing after object indication by operator.

표 1은 보정 차트에 표시한 6개의 샘플점의 기준 좌표값(x, y, z)과 영상에서 획득한 화소값(U, V), 그리고 변환행렬을 이용하여 계산된 좌표값(X, Y, Z)와의 오차를 나타낸 것이다. 표 1로부터 샘플로 지정된 값들은 변환식을 이용하여 정확한 값을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 카메라 이동 거리를 40mm, 80mm, 120mm로 달리하여 측정된 결과 예측한 결과대로 주어진 거리에 대하여 카메라의 이동거리가 클수록 거리 측정 오차는 감소하였다. 또한 주어진 카메라 이동거리에서 측정된 거리를 달리한 같은 점에 대하여는 거리가 멀어질수록 오차가 증가함을 보였다. 따라서, 작업자의 지시에 의한 대상체 인식 및 3차원 좌표측정의 경우, 좌 우 두 개 영상의 중첩부가 물체를 인식하고 측정하는 대상 작업영역이 된다. 2개 카메라 영상으로부터 얻는 작업 영역은 카메라 베이스 거리가 커질수록 중첩영역이 급격히 감소하므로 작업영역을 적정하게 유지하는 범위 내에서 가능한 카메라 베이스간 거리를 크게 하는 것이 좋다.

컬러 영상처리를 통하여 대상물의 정보를 추출한 결과는 그림 4의 (a), (b)와 같이 1차로 작업자가 대상체를 지시함으로써 복잡한 영상처리 알고리즘을 실시간으로 이용할 수가 있었고, 또한 토마토에 있어서 색상대비가 커 비교적 쉽게 대상물을 찾을 수 있었으며, 형상이 원형에 가까워 중

심좌표 및 크기도 쉽게 추출할 수 있었다.

4. 요약 및 결론

생물생산 작업공정은 다양한 작업공정으로 이루어져 있으며 이러한 다양성을 극복하기 위한 생력화 연구에 있어서 본 논문에서 제안하는 원격작업 지시에 의한 작업자와 컴퓨터-기계간의 역할 분담 및 작업 인터페이스 개발 개념은 실제 현장에 적용이 가능하고, 생물생산 작업용 로봇 등 기존의 생력화 장치와 비교하여 기능에 있어서 보다 범용적이고 생산성 및 작업성이 높은 생력기계의 개발을 유도할 수 있다.

본 논문에서는 대상체의 작업인식은 작업자의 판단에 의존하고 이러한 작업자의 판단에 의거하여 대상체에 대한 보다 정밀한 정보(크기, 형태, 3차원 좌표 등)는 컴퓨터-기계가 추출하는 역할 분담 개념을 구현하였다. 작업자와 컴퓨터-기계 시스템간의 효율적인 인터페이스를 구현하기 위하여 터치패드를 장착한 모니터를 통하여 원격으로 영상을 입력받아 입력 영상을 보고 작업자가 작업을 지시하는 형태로 인터페이스를 구현하였다. 작업 인터페이스 프로그램은 MS 윈도우 기반으로 Visual C++6.0을 사용하여 영상획득, 작업대상체 지시, 국부영상처리, 3차원 기준 좌표계로의 변환

등으로 구분하여 구축하였다.

작업자의 지시에 의한 국부영상처리 개념은 실시간 처리를 가능하게 해주며 대상체 인식의 정확도와 인식의 안정도를 높이고 소요되는 처리시간으로 인하여 기피하였던 보다 복잡한 영상처리기법의 적용 역시 가능함을 알 수 있었다.

향후, 다양한 작업환경과 대상체에 대한 국부영상처리 연구와 바이오 센서를 이용한 작업자의 지시에 대한 검정 및 보완 그리고 작업자와 컴퓨터-기계간의 작업정보 인터페이스 기술 연구를 통하여 본 논문에서 제안하는 원격작업지시에 의한 작업자와 컴퓨터-기계간의 역할 분담 개념은 생물생산작업의 생력화에 새로운 해법과 발전 방향을 제시할 것이다.

참 고 문 헌

1. Lee, C. H. and H. Hwang. 1992. Computer Vision Based Measurement, Error Analysis, and Calibration. J. of Korean Society for Agricultural Machinery, 17(1):65-78.
2. Hwang, H., Y. C. Chang and D. H. Yim. 1998. Three dimensional geometric feature detection using computer vision and laser structured light. J. of Korean Society for Agricultural Machinery, 23(4):381-390.
3. Robotics for Bioproduction, Editor N. Kondo and K. C. Ting, 1998 ASAE.