

산업용 매니플레이터의 작업 성능 향상을 위한 영상 기반 물체 인식에 관한 연구

박인철¹, 박종호², 류지형³, 김형주³, 정길도^{4*}

¹국가과학기술인력개발원, ²서남대학교 전기전자공학과, ³한국전자통신연구원
⁴전북대학교 전자공학부/전북대학교 전자정보신기술연구소

Study on vision-based object recognition to improve performance of industrial manipulator

In-Cheol Park¹, Jong-Ho Park², Ji-Hyoung Ryu³, Hyoung-Ju Kim³, Kil-To Chong^{4*}

¹KIRD, Korea Institute of Human Resources Development in Science and Technology

²School of Department of Electronic & Electronic Engineering, Seonam University

³ETRI, Electronics and Telecommunications Research Institute

⁴School of Department of Electronic Engineering, Chon-buk National University

/Advanced Electronics and Information Research Center, Chon-buk National University

요약 본 논문에서는 산업용 매니플레이터의 작업 성능 향상을 위하여 영상 기반의 물체 인식 방법을 제안하였다. 기존 산업용 매니플레이터의 경우 대부분 산업 현장에서 제공하는 정보만을 활용해 산업용 매니플레이터를 동작시킴으로써 작업 물체 틀어짐 등에 대한 문제를 고려하지 않고 있기에 보다 안정적인 작업을 수행하는데 있어 문제점이 발생할 수 있다. 본 연구에서 사용된 물체인식 방법은 기존의 Harris Corner 알고리즘의 인식을 향상시키기 위하여 HSV채널로부터 색상정보를 포함한 V채널과 배경분리가 용이한 S채널을 분리 한 뒤 이를 바탕으로 Otsu Thresholding 기법을 적용하였다. 이를 통해 작업 물체를 보다 정확하게 인식하고 만약 작업 물체가 외부요인에 의하여 정확한 위치에 놓여있지 않거나 뒤틀어져 있는 경우 신속하게 확인한 후 원활한 작업을 위해 산업용 매니플레이터의 동작 제어를 수행하는 것으로 실제 산업용 매니플레이터에 적용한 후 실험을 통하여 이를 검증하였다. 이는 실제 공장 시스템에서 갑작스런 사람의 유입 혹은 외부요인에 의한 작업물체의 변화 등의 문제점에 대하여 강인하고 유연하게 대처하며 오류로 인한 작업공정의 중단을 사전에 방지함으로써 전체 시스템 가동시간의 효율성을 증대시키는 결과를 가져올 수 있다.

Abstract In this paper, we propose an object recognition method using image information to improve the efficiency of visual servoing for industrial manipulators in industry. This is an image-processing method for real-time responses to an abnormal situation or to external environment change in a work object by utilizing camera-image information of an industrial manipulator. The object recognition method proposed in this paper uses the Otsu method, a thresholding technique based on separation of the V channel containing color information and the S channel, in which it is easy to separate the background from the HSV channel in order to improve the recognition rate of the existing Harris Corner algorithm. Through this study, when the work object is not placed in the correct position due to external factors or from being twisted, the position is calculated and provided to the industrial manipulator.

Keywords : Image processing, Manipulator, Vision system, Visual servoing, Otsu Thresholding

본 연구는 산업통산자원부와 한국산업기술진흥원의 “국제공동기술개발사업”의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

This research was financially supported by the Ministry of Trade, Industry and Energy(MOTIE) and Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) through the International Cooperative R&D program (N046200012).

*Corresponding Author : Kil-To Chong(Chonbuk Univ.)

Tel: +82-10-2982-2882 email: incp486@naver.com

Received January 10, 2017

Revised (1st February 27, 2017, 2nd April 6, 2017)

Accepted April 7, 2017

Published April 30, 2017

1. 서론

로봇기술의 발전으로 오늘날 수많은 산업 현장에서 산업용 매니플레이터들이 공장자동화를 위하여 사용되고 있다. 특히 금형, 용접, 열처리 공정 등의 산업 현장에서 이루어지는 작업 단계 중 사람이 직접 작업하기에는 위험성이 높은 작업 단계가 존재한다. 따라서 작업 중 발생할 수 있는 근로자의 안전 문제 및 작업 환경 개선과 생산성 정체 및 감소 문제를 해결하기 위한 방안의 일환으로 산업용 매니플레이터를 활용한 산업 현장의 자동화[1]가 이루어지고 있다. 그러나 현재 산업용 매니플레이터 제어 기술의 한계로 인해 실제 산업용 매니플레이터는 대부분 제한된 작업 환경에서 특정한 동작[2]을 반복적으로 수행하게 된다. 이러한 작업 제한 요인은 특히 사용되는 센서의 한계로부터 초래되는 경우가 많았으며 이에 이를 극복하고 산업용 매니플레이터의 작업 범용성을 높이기 위한 센서 융합[3][4]의 중요성이 일찍부터 제기되어 왔다.

더불어 최근에 기하학적 비전 기술 분야에 대한 연구를 통해 카메라는 다양한 종류의 기하학적 정보를 높은 정확도로 인식할 수 있게 되어 기하센서로 광범위하게 이용되고 있다. 이러한 카메라의 유용성은 산업용 매니플레이터의 작업 정확도를 개선[5]하는데 매우 효과적이다. 산업 현장에서 활용되고 있는 비전 시스템의 경우 작업자가 교시하지 않아도 대상물에 대한 정보를 획득한 후 필요한 작업을 수행할 수 있도록 하는 것으로써 산업 현장에서는 자동 검사 시스템[6]과 자동 조립[7] 등에 응용되고 있다.

더불어 기존 산업용 매니플레이터의 경우 대부분 산업 현장에서 제공하는 정보만을 활용해 산업용 매니플레이터를 동작시킴으로써 작업 물체 틀어짐 등에 대한 문제를 고려하지 않고 있기에 보다 안정적인 작업을 수행하는데 있어 문제점이 발생할 수 있으며 이를 해결하기 위하여 다양한 센서들을 산업용 매니플레이터와 결합하고자 하는 연구[8][9]가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 먼저 외부 변화에 강인하게 대처하기 위한 영상 검출 방법 및 물체 인식 알고리즘을 제안하고자 하며, 구체적으로 작업 물체의 영상 데이터를 효과적으로 획득하고 획득한 영상 데이터를 통해 이동하는 작업 물체의 위치, 틀어진 각도, 속도를 알 수 있다. 연구 결과 확인은 산업용 매니플레이터를 활용한 실제 실험을 통해 검증하였으며 이를 위해 먼저 카메라를 산업용 매

니플레이터 끝단에 설치하고 제안한 영상 기반 물체 인식을 수행하고 물체 인식 결과를 활용 산업용 매니플레이터 끝단 위치를 작업 물체의 작업 시작점으로 움직이는 실험을 통해 연구 결과를 확인하였다.

2. 본 론

2.1 시스템 개요

본 연구의 최종 목표는 산업용 매니플레이터에 작업의 신뢰성 향상과 더불어 작업 유연성과 효율성을 증대하기 위한 것으로 먼저 영상 기반의 작업 물체 인식을 수행하고자 한다.

실제 산업용 매니플레이터는 특정한 작업 동작을 반복적으로 수행하게 되는데 만약 작업 물체가 틀어져있거나 혹은 다른 외부 요인으로 인하여 작업 물체 전달이 지연될 경우 매니플레이터는 정상 작업을 수행할 수 없으며 전체 공정을 정지하고 불량 원인을 파악한 후 다시 작업을 진행하여야 한다.

따라서 Fig. 1과 같이 매니플레이터 끝단에 카메라를 설치한 후 획득되어지는 영상을 활용하여 작업 물체 인식 및 특징점을 확인할 수 있다면 매니플레이터 작업에 있어 작업 물체의 틀어짐 혹은 작업 물체 지연 운송이 발생하여도 지속적인 작업을 수행할 수 있다.

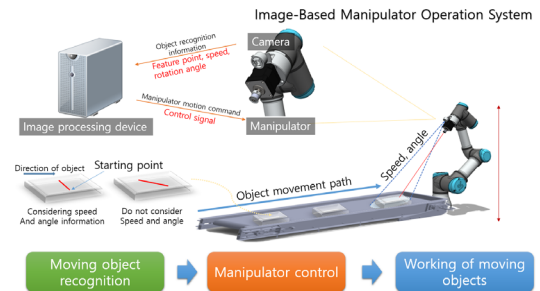


Fig. 1. Operation diagram of manipulator

따라서 영상 정보를 활용하여 작업 물체 인식과 특징점 검출을 위한 카메라 모델링 및 보정 방식에 대한 논의, 작업 물체에 대한 영상 좌표 변환과 작업 물체 영역 및 특징점 검출 방법에 대하여 세부적으로 논하고자 한다. 그리고 산업용 매니플레이터를 활용한 실험을 수행하였다.

2.2 영상정보를 활용한 작업 물체 검출

본 연구에서는 카메라를 통해 획득한 영상의 위치 좌표가 매우 중요하며 신뢰성이 높아야 한다. 그런데 카메라에서 획득하는 영상의 경우 카메라 렌즈의 모양에 의해 발생하는 방사왜곡(radial distortion)과 카메라 조립 과정에서 발생하는 접선왜곡(tangential distortion)이 존재하며 본 연구에서는 이런 왜곡 문제 해결을 위해 카메라 캘리브레이션 과정을 실시하였다. 이후 획득한 카메라 영상에 대한 전처리 작업과 영상 좌표 변환 알고리즘을 통해 매니퓰레이터를 기준으로 실시간으로 영상 좌표값을 구한다.

2.2.1 핀홀 카메라 모델 및 카메라 보정

먼저 카메라 영상 정보의 왜곡 문제 해결을 위해 핀홀 카메라 모델을 기반으로 캘리브레이션을 실시하였다. 이는 영상좌표로부터 3차원 공간좌표를 복원하기 위하여 내부파라미터를 구하기 위한 필수적인 과정이다. 변환관계를 모델링하기 위한 과정은 Fig. 2를 통해 확인할 수 있다.

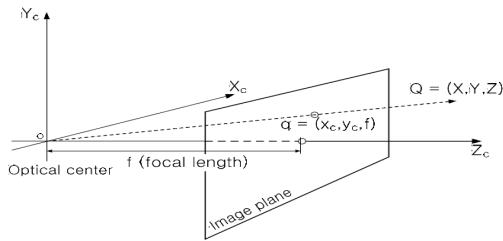


Fig. 2. Pin-hole camera model

2차원 평면상의 점의 좌표 (x_c, y_c) 는 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

$$x_c = f_x \left(\frac{X}{Z} \right) + c_x, y_c = f_y \left(\frac{Y}{Z} \right) + c_y \quad (1)$$

단, 식 (1)에서 x_c 와 y_c 는 광축이 센서 중심을 정확히 지나가도록 카메라를 제조하기는 불가능하므로 보정을 위해 필요한 변수이며 X, Y, Z는 점 Q의 X, Y, Z좌표이다. x_f 는 초점거리 f에 영상 센서의 개별 요소의 x축 크기를 곱한 값이며, y_f 역시 초점거리 f에 영상 센서의 개별 요소의 y축 크기를 곱한 값이다. 카메라 캘리브레이션[10]은 카메라의 내부 파라미터와 외부 파라미

터를 구하기 위한 과정이다. Fig. 3와 같이 검은색과 흰색으로 이루어진 한 번의 크기를 알고 있는 체커보드를 카메라를 이용하여 촬영을 한다. 이를 통해 실세계의 한 점이 카메라로 투영되는 관계는 식 (2)와 같은 행렬 연산으로 표현할 수 있다.

$$q = MQ, q = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ f \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, Q = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (2)의 파라미터에는 초점 거리(f_c), 카메라 영상 표면의 실제 원점(c), 비틀림 계수(α_c) 그리고 왜곡 계수(k_c)다.

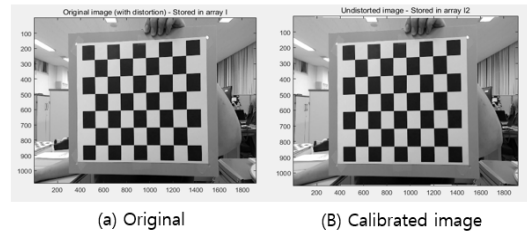


Fig. 3. Camera calibration result

위와 같이 카메라 수학적 모델을 통해 만들어진 camera calibration toolbox를 이용하여 보정 과정을 수행하였다. 카메라 캘리브레이션 결과 값은 [Table 1]과 같고 정확성을 판단하기 위하여 GML 캘리브레이션 프로그램을 이용하여 값을 비교하였다. 그 결과 두 프로그램에서의 내부 파라미터 성분이 일치함을 확인하였다.

Table 1. Camera calibration result (GML)

Contents	Result value
Number of Images	20
Square Size	21.000[mm]
Focal Length	[1366.753 1369.440] ± [6.843 6.575]
Principal Point	[935.418 548.534] ± [6.483 5.774]
Distortion	[0.0933166 -0.410528 -0.004518 -0.001351] ± [0.030960 0.560463 0.001656 0.001991]
The Camera Matrix	[1366.753 0 935.418 ; 0 1369.440 548.534 ; 0 0 1]
Pixel Error	[0.38 0.39]

2.2.2 영상 자코비안을 이용한 좌표 변환

보정된 영상 정보를 활용하여 카메라가 바라보고 있

는 특징점의 현재 좌표와 목표하는 특징점 좌표 오차를 정의하여 영상 평면의 특징점 오차 ζ 를 '0'으로 수렴하는 것을 제어 목표로 정한다.

하지만 영상 오차 ζ 는 영상 평면상에서 정의되며 매니플레이터 구동을 위한 입력은 매니플레이터의 각 관절 좌표계에서 정의되었기에 영상평면에서 특징점 이동과 매니플레이터 말단부의 속도와 상호 변환 관계를 만족하는 함수가 필요하다. 이러한 속도 관계를 만족 시켜주는 함수를 영상 자코비안[11]이라 한다. 카메라의 운동 방정식에 대한 영상 자코비안을 이용하여 특징점들의 움직임을 계산함으로써 설명되며, 영상 자코비안을 이용하여 상태공간을 유도한다. 선형성을 가지는 속도 v_c 와 각속도 ω_c 이다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{f}{Z} & 0 & \frac{x}{Z} & \frac{xy}{f} & -\frac{(x^2+f^2)}{f} & y \\ 0 & -\frac{f}{Z} & \frac{y}{Z} & \frac{y^2+f^2}{f} & -\frac{xy}{f} & -x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_c \\ \omega_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$= J_{image}(x, y, Z) [v_c^T \ \omega_c^T]^T$$

위의 방정식에서 Z 는 카메라로부터 입력된 월드 좌표계에서의 한 점과 카메라 사이의 거리이며 자코비안 매트릭스는 J_{image} 라고 표기한다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{y}_1 \\ \vdots \\ \dot{x}_n \\ \dot{y}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{image}(x_1, y_1, Z_1) \\ \vdots \\ J_{image}(x_n, y_n, Z_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_c \\ \omega_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

좌표를 구하기 위한 상태 공간과 제어입력은 다음과 같이 $\zeta = [x_1 y_1 \dots x_n y_n]^T$ 와 $u = [v_c^T \ \omega_c^T]^T$ 로 정의한다. 우리는 다음 식에서 비주얼 서보잉 시스템의 상태 공간 방정식을 획득할 수 있다. J_{image}^+ 행렬은 점 N 을 중심으로 영상 자코비안으로 구성된 확장 자코비안이며, 영상 자코비안은 특징점 ζ 을 미분하면 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\dot{\zeta} = J_{image}^+ u \quad (5)$$

$$J_{image}^+(\zeta, Z) = \begin{bmatrix} J_{image}(x_1, y_1, Z_1) \\ \vdots \\ J_{image}(x_n, y_n, Z_n) \end{bmatrix} \quad (6)$$

2.2.3 물체 영역 및 특징점 검출

영상 자코비안을 통하여 변환된 물체의 좌표를 지속적으로 추적하기 위하여 물체의 특징점을 검출하여야 한다. 특징점 검출을 위해 Harris Corner detection 알고리즘으로 사각형 영역을 계산하고 그 과정은 식 (7)에서 식(10)과 같이 이루어진다.

$$H = \begin{bmatrix} \sum_w I_x(x, y)^2 & \sum_w I_x(x, y) I_y(x, y) \\ \sum_w I_x(x, y) I_y(x, y) & \sum_w I_y(x, y)^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$R = \det(H) - k(tr(H))^2 \quad (8)$$

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$dst(x, y) = src\left(\frac{M_{11}x + M_{12}y + M_{13}}{M_{31}x + M_{32}y + M_{33}}, \frac{M_{21}x + M_{22}y + M_{23}}{M_{31}x + M_{32}y + M_{33}}\right) \quad (10)$$

입력된 영상을 I 라고 하고, x 축 방향에 대하여 미분된 영상을 I_x 라 하며, y 축 방향에 대하여 미분된 영상을 I_y 라 한다. 행렬 H 가 의미하는 것은 x 방향의 성분의 양과 y 방향의 성분의 양 그리고 대각선 방향의 성분의 양을 나타낸다.

현재 파라미터 K 값은 일반적으로 0.06으로 정해지며, 실제 Harris Corner detection에서는 M 의 고유값을 직접 구하지 않고 $\det(M) = \lambda_1 \lambda_2$, $tr(M) = \lambda_1 + \lambda_2$ 임을 이용하여 다음 수식의 부호로 코너점 여부를 결정한다.

2.2.4 Otsu 이진화 알고리즘

본 연구에서 물체의 효율적인 Harris corner 알고리즘 적용을 위하여 제안한 방법은 HSV영상을 각각 채널별로 분리하였다. 그 이후 빛과 외란 등에 강인하고 배경영역과 정확한 분리가 가능한 S채널영역에 Otsu Threshold 기법을 적용하여 빛에 좀 더 강인하고 외란에 영향을 받지 않도록 구성하였다.

Otsu 이진화 알고리즘은 입력 영상의 히스토그램을 기반으로 유사 밝기 값을 갖는 객체를 분리하여 최적의 임계값을 추출하는 기법이다. 흔히 배경과 전경을 나눌 때 사용된다. 특정값을 기준으로 배경과 전경을 나누는데 여기서 특정값을 threshold값이라고 한다. 그리고 컨

베이어 벨트 위의 다양한 색상의 물체 추적이 가능하도록 Otsu 알고리즘을 적용하였다. 객체분리를 실시하는 최적의 임계값을 추출하는 히스토그램으로 영상의 히스토그램 형태가 쌍봉형(bimodal)이라고 가정 하였을 경우 계곡점(valley)을 찾아서 해당 점을 임계값으로 정한다. Fig. 4는 일반적인 HSV이진화 방법(C)과 제안한 이진화 방법(B)을 통하여 영상처리를 실시한 결과이다. 기존의 방법(C)에서는 빛과 색상의 영향을 받아 세밀하게 이진화가 이루어지지 않는 결과를 보이는 반면 제안한 알고리즘을 적용시킨 결과(B)는 보다 정확한 이진화가 이루어 졌음을 확인할 수 있다.

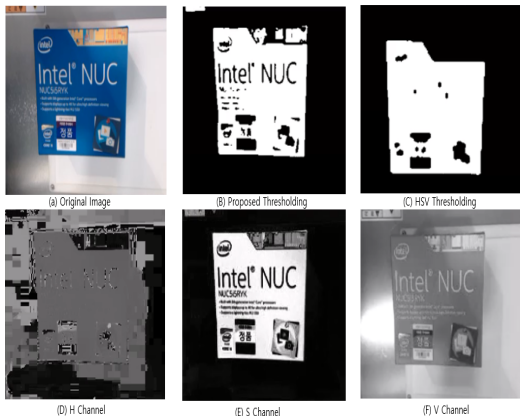


Fig. 4. HSV region separation result

2.3 매니플레이터 동작 제어

이진화를 통하여 검출된 특징점들을 바탕으로 매니플레이터의 강인하고 유연한 동작 제어를 실시한다. 첫째로, 획득된 영상 통해 작업 물체에 대한 정보를 확보하고 이를 바탕으로 매니플레이터 동작을 변화시켜 작업을 수행하도록 한다. Fig. 5는 매니플레이터 동작을 위한 순서도이다.

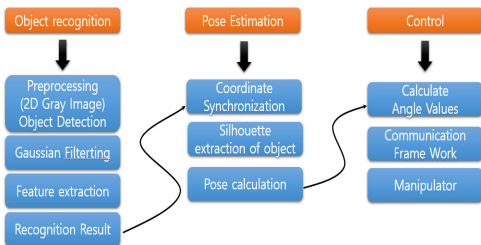


Fig. 5. Operation flowchart of manipulator

더불어 카메라의 실제 픽셀좌표를 받아 인터랙션 행렬(Interaction Matrix)을 통한 좌표변환을 실시하였고, 그 결과 2D 카메라의 좌표계의 한 점이 매니플레이터가 이동하고자 하는 좌표로 변환되는 동작을 수행하였다. 카메라 주점(principal point)의 위치와 mm단위를 픽셀 단위로 환산하여 작업지점의 정확한 좌표를 계산하였다.

2.4 산업용 매니플레이터 활용 실험 결과

본 연구 결과를 확인하기 위해 UR3 매니플레이터를 활용하였으며, UR3 매니플레이터에 장착한 카메라는 Logitech C920 카메라이며 UR3 매니플레이터 제어를 위해 Intel Core i5-2467M 1.6 GHz 환경에서 Visual Studio 2013과 OpenCV 3.0.0을 이용해 물체 인식 및 특징점 검출 관련 소스를 구현하였다. Fig. 6은 구현된 전체 실험 시스템으로 카메라가 장착된 매니플레이터 및 영상처리장치 등을 보여주고 있다.

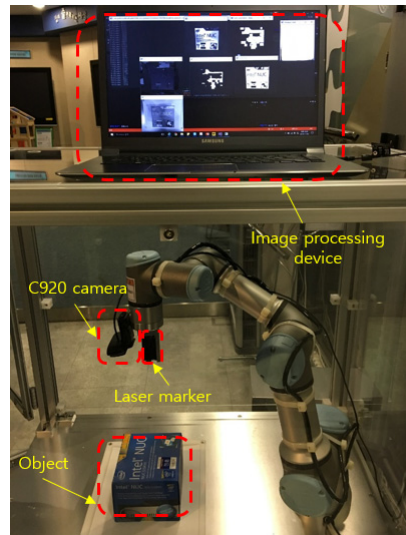


Fig. 6. Experimental environment

2.4.1 작업 물체 인식 결과

본 연구에서는 먼저 산업용 매니플레이터의 작업 물체가 외란 혹은 특정할 수 없는 원인으로 인해 위치가 이동할 경우 작업 물체를 인식하고 추종하는지에 대한 것으로서 작업 물체의 이동은 A4사이즈 기준 좌측상단을 기점으로 대각선 방향으로 20cm 이동을 실시하였다. 작업 물체 인식을 위해 처음으로 작업 물체 영역과 기울어진 각도 등을 계산하였고 이후 빛과 영역 분리가 용이한 S채널 영역 검출 기법을 활용하여 물체 인식 및 특

징점 검출을 실시하였다. Fig.7은 카메라로 입력된 영상이 특징점 검출을 실시한 후 물체를 추적하기 위한 Labeling 과정을 보여주는 그림이다. 대상물체의 크기 및 좌표는 초당 5회씩 검출되어 TCP/IP통신을 통하여 매니플레이터에 전송된다.

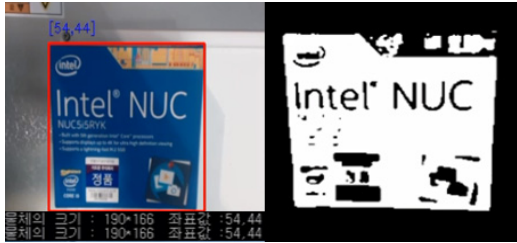


Fig. 7. Binarization and labeling

2.4.2 매니플레이터 동작 제어 결과

앞서 수행된 물체 인식 및 특징점 검출 결과를 이용하여 매니플레이터는 좌표 평면상에서 작업 물체가 이동한 경로를 추정하여 움직였으며 이는 Fig. 8과 같이 보여주고 있다.

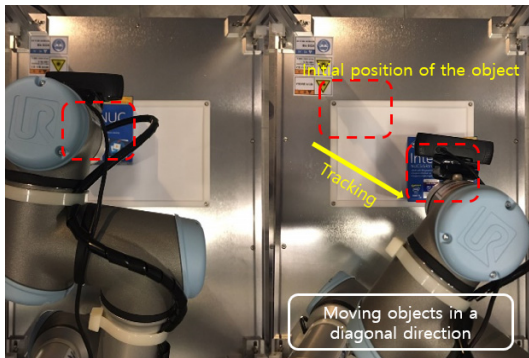


Fig. 8. Movement path of an object

산업용 매니플레이터의 동작 제어에 대하여 보다 자세하게 Fig. 9에서 Fig. 12를 통해 설명하고 있다. 먼저, Fig. 9의 경우 작업 물체의 이동 경로를 X,Y좌표평면상에서 나타낸 것이다.

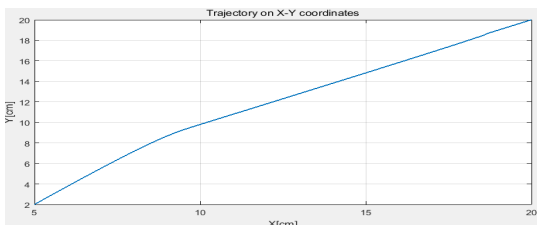


Fig. 9. Object movement path on X,Y coordinate

Fig. 10은 작업 물체와 매니플레이터 끝단의 추적 경로를 X,Y좌표평면상에서 위치 이동 정보를 Fig. 11은 속도 궤적을 그리고 Fig. 12는 가속도 궤적을 나타내고 있는 것으로써 작업 물체가 이동한 후 약 1초 정도까지는 매니플레이터가 물체를 인식하는 과정에서 발생하는 딜레이타임이다.

초기에 발생하는 추종오차는 약 1.5초 내에 오차가 0으로 수렴함을 확인 할 수 있다. 제한한 영상처리 방법으로 물체가 작업 대상에서 벗어나거나 정확한 위치에 놓이지 않은 경우 유연하게 작업이 가능함을 보였으며 이를 바탕으로 실제 매니플레이터의 제어를 실시함으로써 영상정보를 이용한 물체인식 성능을 확인하였다.

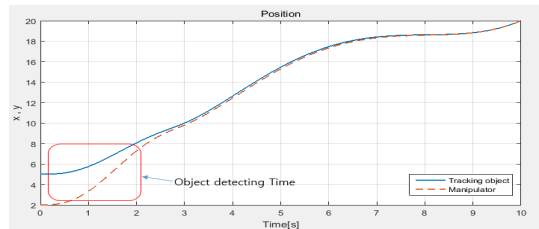


Fig. 10. Moving path

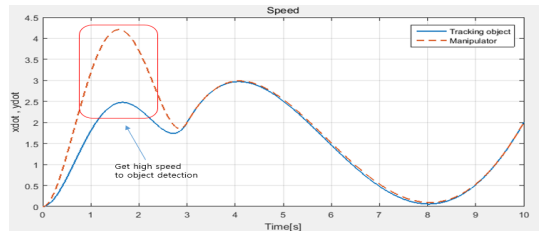


Fig. 11. Velocity trajectory

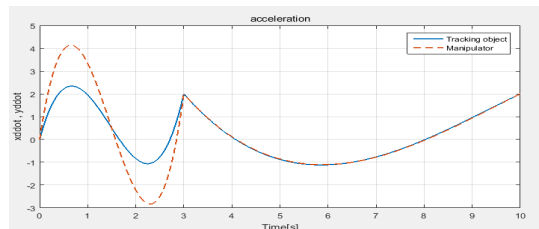


Fig. 12. Acceleration trajectory

3. 결론

본 논문에서는 산업현장에서 카메라를 이용한 산업용 매니플레이터의 제어를 위한 영상처리 시스템을 제안하

였다. 영상정보를 이용하지 않은 기존의 연구에서는 물체가 비틀어지거나 정확한 위치에 놓여 있지 않은 경우에 작업이 지연되는 경우가 있었다. 하지만 기존 연구와는 달리 본 논문에서 제안한 시스템에서는 작업 도중에 발생할 수 있는 물체의 이상 상황에 실시간으로 대응하여 작업의 신뢰성 향상과 유연성을 보였다. 또한 기존의 HSV채널로부터 배경분리가 용이한 S채널을 분리 한 뒤 이를 바탕으로 Otsu Thresholding 기법을 적용하였다. 기존의 방식보다 정확하게 물체 추적이 가능하였으며 정확성을 요구하는 산업용 매니퓰레이터의 끝단의 위치가 제어 가능함을 보였다. 이는 실제 공장 시스템에서 갑작스런 사람의 유입 혹은 외부요인에 의한 작업물체의 변화 등의 문제점에 대하여 강인하고 유연하게 대처하며 오류로 인한 작업공정의 중단을 사전에 방지함으로써 전체 시스템 가동시간의 효율성을 증대시키는 결과를 가져올 수 있다.

References

- [1] P. U. Frei, "An intelligent vibratory conveyor for the individual object transportation in two dimensions," International Conference on Intelligent Robots and System, vol. 2, pp. 1832-1837, 2002.
DOI: <https://doi.org/10.1109/IRDS.2002.1044022>
- [2] R. Kelly, "Robust asymptotically stable visual servoing of planar robots," IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol. 12, no. 5, pp. 759-766, 1996.
DOI: <https://doi.org/10.1109/70.538980>
- [3] C. Frederik Bagge, J. Rolf and R. Anders "Six DOF Eye-to-Hand Calibration form 2D Measurements Using Planar Constraint," International Conference on Intelligent Robots and System, pp. 3268-3632, 2015.
- [4] A. Traslosheros, J.M. Sebastián, E. Castillo, F. Roberti, R. Carelli, "A method for kinematic calibration of a parallel robot by using one camera in hand and a spherical object," International Conference on Advanced Robotics, pp. 75-81, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1109/icar.2011.6088594>
- [5] F. Chaumette, S. Hutchinson, "Visual Servo Control Part I: Basic Approaches," IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 14, issue 1, pp. 109-118, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1109/MRA.2006.250573>
- [6] T. Roland, A. Charles, "Automated Visual Inspection: A Survey," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-4, no. 6, pp. 557-573, 1982.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.1982.4767309>
- [7] B. E. Kratochvil, L. Dong, B. J Nelson, "Real-time rigid-body visual tracking in a scanning electron microscope," Inter J. of Robotics Research, vol. 28, no. 5, pp. 498-511, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1177/0278364908099849>
- [8] H. Li, J. Liu, Y. Li. "Visual Servo of Uncalibrated Eye-in-hand System with Time-delay Compensation," Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation. 2010.
- [9] S. Moon Sun, K. Myoung Sic, "Robot Control Data Management System for Automatic Parcel Sorting," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 14, no. 6, pp. 3023-3031, 2013.
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.6.3023>
- [10] Z. Zhengyou, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 11, pp. 1330-1334, 2000.
DOI: <https://doi.org/10.1109/34.888718>
- [11] R. Kelly, J. Moreno, and F. Perez, "Manipulator motion control in operational space using joint velocity inner loops," Proc. of the 40th IEEE CDC, pp. 2416-2417, 2001.
DOI: <https://doi.org/10.1109/cdc.2001.980624>

박 인 철(In-Cheol Park)

[정회원]



- 2015년 2월 : 원광대학교 전자공학과 (학사)
- 2017년 2월 : 전북대학교 전자공학과 (전자공학 석사)
- 2016년 2월 ~ 2017년 2월 : 한국전자통신연구원 연구원
- 2017년 3월 ~ 현재 : 국가과학기술인력개발원 연구원

<관심분야>

로봇공학, 영상처리, 임베디드시스템 제어 등.

박 종 호(Jong-Ho Park)

[정회원]



- 1999년 2월 : 전북대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2001년 8월 : 전북대학교 전자공학과 (공학박사 수료)
- 2009년 3월 ~ 2010년 12월 : 전북대학교 공과대학 시간강사
- 2011년 2월 ~ 현재 : 서남대학교 전기전자공학과 교수

<관심분야>

로봇 제어, 센서융합, 임베디드 시스템, 비전형 제어 등

류 지 형(Ji-Hyung Ryu)

[정회원]



- 2005년 2월 : 전북대학교 전자정보 공학부 (전자전공 학사)
- 2007년 2월 : 전북대학교 제어계측 공학과 (석사)
- 2015년 2월 전북대학교 전자공학과 (박사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원

<관심분야>

이동로봇, 지능제어, 자동화 시스템

김 형 주(Hyung-Joo Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 전북대학교 제어계측 공학과 졸업(학사)
- 1999년 2월 : 전북대학교 전기공학과(제어계측 석사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야>

유무선 네트워크, 임베디드SW, 무선통신, IT융합

정 길 도(Kil-To Chong)

[정회원]



- 1984년 5월 : Oregon State University 기계공학과 (학사)
- 1986년 12월 : Georgia Institute of Technology 기계공학과 (기계공학 석사)
- 1993년 5월 : Texas A&M 기계공학과 (기계공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 전자공학부 교수

<관심분야>

Time Delay, Robotics, 인공지능 등.