

논문 2011-48SC-6-3

3 차원 거리 정보로부터 물체 윤곽추출에 의한 물체 및 자세 인식

(Object and Pose Recognition with Boundary Extraction from 3 Dimensional Depth Information)

김 성 찬*, 양 창 주**, 이 준 호**, 김 종 만***, 김 형 석**

(Seongchan Gim, Changju Yang, Junho Lee, Jongman Kim, and Hyongsuk Kim)

요 약

스테레오 비전 방식의 단점을 보완하기 위해 단일 카메라를 이용한 3차원 정밀 거리 측정 및 물체 인식방법을 제안하였다. 단일 카메라, 레이저 광 그리고 회전 평면경을 사용하여 정밀한 3 차원 거리 정보를 얻을 수 있다. 거리정보로 표현된 물체 영역에 간단한 문턱치 처리를 사용하면, 물체의 윤곽을 얻을 수 있으며, 그 윤곽에 대한 시그니처를 데이터베이스와 비교함으로써, 물체와 그 자세까지 인식할 수 있다. 정밀 거리측정에 의한 물체 인식을 향상시키기 위해 시뮬레이션 결과를 제시하였다.

Abstract

Stereo vision approach to solve the problem using a single camera three dimension precise distance measurement and object recognition method is proposed. Precise three dimensional information of objects can be obtained using single camera, a laser light and a rotating flat mirror. With a simple thresholding operation on the depth information, the segmentations of objects can be obtained. Comparing the signatures of object boundaries with database, objects can be recognized. Improving the simulation results for the object recognition by precise distance measurement are presented.

Keywords : 거리정보, 물체 윤곽정보, 시그니처, 물체인식, 물체 자세인식

I. 서 론

실생활에서 로봇의 서비스 영역을 넓히고, 작업의 효율성을 높이기 위해서는 로봇 스스로가 주변 환경을 인식하고 물체를 인식할 수 있어야한다. 물체나 로봇 작

업환경에 대한 인식은 오래 전부터 연구되어 왔지만, 주로 영상을 이용한 방법을 사용하여 왔다. 영상에 의한 인식 기술은 아직 해결되지 않은 많은 과제가 산재해 있기 때문에, 로봇에 응용같이 범용 목적으로는 실용화가 가능하지 않다는 문제가 있다. 본 연구는 정밀 거리 측정장치를 이용하여 물체의 윤곽을 추출하고, 물체 윤곽의 시그니처 정보를 이용하여 물체를 인식하고자 하는 연구이다.

기존에는 물체까지의 거리를 인식하기 위해서 인간의 시각처럼 두 대의 카메라를 사용하여 3차원 거리 정보를 알 수 있는 스테레오 비전 방식을 많이 사용한다. 스테레오 비전 방식은 간단하게 두 대의 카메라로 구성할 수 있지만 카메라의 정렬 상태 및 두 영상의 유사성

* 정회원, 삼성전자 선임연구원
(SAMSUNG)

** 학생회원, 전북대학교 전자정보공학부
(Electronic and Information Engineering Faculty,
Chonbuk National University)

*** 정회원, 전남도립대학교 신재생에너지전기과
(Department of Renewable energy electricity,
Jeonnam Provincial College)

※ 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

접수일자: 2010년11월26일, 수정완료일: 2011년11월3일

에 따른 정합 포인트 결정이나 정합 오류^[1]로 인하여 거리 측정 오차가 발생하는 큰 단점을 가지고 있다. 또, 두 대의 카메라로부터 입력된 영상을 픽셀단위로 매칭하기 때문에 계산시간이 오래 걸리는 단점^[2~3]도 있다.

스테레오 비전 방식의 카메라특성일치 및 정렬 문제를 해결하기 위하여 단일 카메라를 이용한 거리측정이 연구되었다. 이러한 방식중의 하나가 로봇 아이핸드 시스템(Robotic eye-in-hand system)이다. 이 시스템은 로봇의 팔에 카메라를 부착하여 로봇의 팔이 카메라를 이동시켜 얻은 연속된 두 장의 영상을 이용하여 거리정보를 추출한다. 그러나 로봇팔의 위치가 가변적이며 작업형태에 따라 카메라가 여러 방향으로 움직이므로 이미지 내에서 정합점을 찾기 매우 어렵다. 또한 로봇팔의 이동으로 인한 카메라의 파손이 쉬우며 거리측정을 위해서는 로봇팔의 물리적인 이동이 있어야 하므로 거리정보 추출에 많은 시간이 소모된다.

단일 카메라를 이용한 또 다른 시스템의 하나로 단일 카메라와 고정된 두 개의 거울을 이용하여 거리정보를 추출하는 시스템^[2]이 있다. 이 시스템은 두개의 거울로부터 반사되는 스테레오 영상들을 단일 카메라를 통해 획득하여 거리를 계산한다. 그러나 두 거울상의 중복영역을 이용하므로 시계가 좁으며, 시계확보를 위하여 비평면거울을 이용하면 영상정보의 왜곡으로 정합오류가 커지는 단점^[1~2]이 있다.

위의 방법보다 더 정밀하게 3차원 거리측정이 가능한 방법이 active vision 기술인데, 많이 사용되는 방법에는 그물망이나 패턴방식의 structured light를 사용하는 방법^[4~5]이 있다. 이 방법은 카메라와 light source간의 구조적 관계 해석과 입력된 light의 패턴을 분석하여 3차원 거리값을 추출^[6]한다. 그러나 light source가 회전하면서 일어나는 blur 현상^[7], light source의 회전 각도에 따른 오차^[8~9]가 여전히 남아있고 정합문제도 해결되어야 할 문제이다.

또, 상기 거리 측정 방법 중 더 개선된 방법으로 카메라, 선형레이저 및 회전 평면경을 사용한 거리 측정 방법^[10]도 연구하였다. 본 거리측정 시스템은 단일 카메라와 선형 레이저, 회전 평면경으로 구성되어 있으며, 초음파 방식에 비하여 거리측정 대상을 정밀하게 분석할 수 있고 스테레오방식에 비하여 정합오류가 매우 작은 장점이 있다.

본 연구는 단일 카메라와, 레이저 광, 회전 평면경을 사용하여 얻은 정밀한 3 차원 거리 정보에 문턱치 처리

함으로써 정밀한 물체 윤곽 정보를 얻고, 그 윤곽에 대한 시그니처를 데이터베이스와 비교함으로써, 물체를 인식하게 하는 방법이다.

제 II장에서는 단일카메라, 선형 레이저광, 및 회전평면경을 이용한 거리 측정 장치를 설명하였고, 제 III장에서는 연구자가 제안한 거리정보 기반 물체 인식 방법을 기술하였다. 또, 제 IV장은 제안한 방법에 의한 다양한 물체를 인식 시뮬레이션 결과이고, 제 V장은 시뮬레이션의 결과를 토대로 정리한 결론을 기술하였다.

II. 정밀 거리 측정 장치

그림 1은 본 연구팀이 개발한 단일 카메라와 선형 레이저 광선, 그리고 맞은편에 회전하는 평면경으로 구성되어 있는 정밀 거리측정 시스템의 기본 구조를 나타내는 그림이다. CCD 카메라와 δ_0 만큼 떨어져있는 레이저는 카메라 광축과 평행하게 거울의 회전 중심인 C로 입사된다. 이렇게 거울에 입사된 레이저는 입사각과 같은 각을 이루며 반사되어 거리 R 만큼 떨어져 있는 물체 T에 맺히게 된다. 물체에 맺힌 레이저 영상은 다시 거울에 허상으로 맺히게 되며 이때 T'은 거울의 회전 각도 θ 와는 무관하게 그림에서와 같이 항상 카메라의 광축과 평행한 S-C의 연장선에 위치하게 된다.

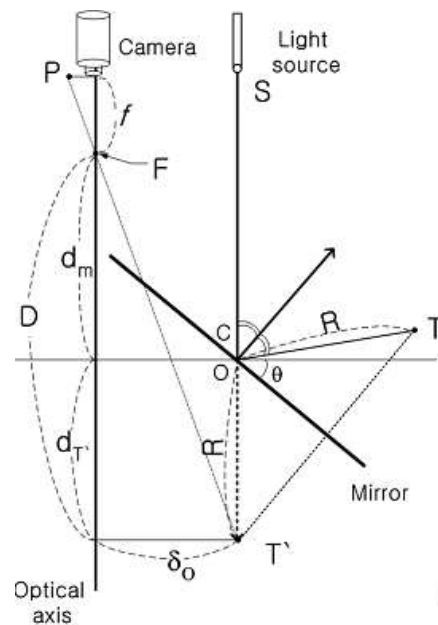


그림 1. 개발한 거리측정 장치의 구성
Fig. 1. Structure of the developed depth measurement system.

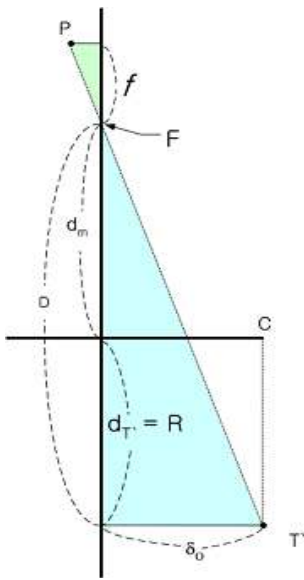


그림 2. 개발한 시스템에서의 거리 계산을 위한 삼각 비례관계

Fig. 2. Triangulation for the depth measurement of the developed system.

거울에 맺힌 영상은 다시 카메라 렌즈의 초점 F를 통하여 카메라 CCD에 맺히게 되며 영상 내에서의 레이저 포인터의 위치인 P를 통해 물체의 거리를 알 수 있다.

그림에서 카메라 초점과 거울의 수평축 사이의 거리를 d_m , 수평축에서 허상까지의 거리는 d_T' , 렌즈의 초점 거리를 f 로 표시하였다.

거리계산식을 위해 그림 1의 거리계산 요소만을 추출하여 간략히 하면 그림 2와 같다.

그림 2와 같이 거울에 허상으로 맺힌 물체의 위치와 물체에 투사된 레이저 화소의 관계는, 초점 F를 공통으로 하고 P와 f를 변으로 하는 삼각형과 D와 δ_0 를 변으로 하는 삼각형이 닮은 형태가 된다. 이때 d_m, δ_0, f 는 항상 고정되어 있으며 물체 거리 R에 따라 D와 P의 값만 변하게 된다. 따라서 화소위치 P만을 이용하여 거리의 계산이 가능하게 된다.

레이저 화소가 CCD 카메라에 의해 영상좌표 $P=(P_x, P_y)$ 에 맺혀진다고 할 때 삼각형의 닮음 공식을 이용하여 거리 측정 식을 유도하면

$$P_x : f = \delta_0 : D \tag{1}$$

$$P_x : f = \delta_0 : (d_m + R) \tag{2}$$

이 되며 식(2)를 거리 R에 대하여 정리하면

$$R = \frac{f \delta_0}{P_x} - d_m \tag{3}$$

가 된다.

식(3)에서 보는 바와 같이, 거리계산은 거울의 회전 각과 무관하게 레이저 화소의 위치만으로 결정된다. 그리고 본 시스템은 영상에 맺힌 레이저 빛이 블러가 생기지 않는 특징을 가지기 때문에 레이저 화소의 위치 검출이 간단한 영상처리만으로도 정확히 이루어지며, 거리측정 결과 역시 다른 영상처리 방식에 비해 정확하고 신뢰할 수 있다.

측정 각도 ϕ 에 대한 측정 오차는 그림 2를 통해서 확인 할 수 있는 바와 같이 P로 인한 방향각의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 거리 R이 클 때 R의 오차가 증가 할 수 있는데 비해 각도 ϕ 에 대한 오차는 작음을 알 수 있다.

III. 거리 정보를 이용한 물체 인식

본 논문에서 제안한 거리정보 기반 물체 인식방법은 그림 1과 같이, 우선 영상 내에서 물체형상에 대한 segmentation을 수행하고, 이로부터 얻은 물체 윤곽선으로부터 시그니처를 추출한 후 데이터베이스와 비교하여 물체를 인식하는 방법이다. 특히 본 논문에서는 segmentation을 위해서 II장에서 기술한 거리 측정 시스템을 사용한 거리 정보를 이용함으로써, segmentation의 정확성을 크게 향상 시켰다. 이 segmentation은 거리 정보에 대한 간단한 thresholding 기법을 사용하면 된다.

거리 정보의 segmentation 결과로 얻어진 물체의 윤곽은 2차원 영상의 segmentation 결과로 얻어진 물체 윤곽에 비해 매우 명확하고 robust한 특성이 있다. 이 윤곽선 상의 각 점들을 각 영역의 중심점으로 부터의 거리와 각도로 표현한 것이 시그니처 정보이다. 이 시그니처 정보를 normalize하면, 크기에 무관한 인식이 가능하게 된다. 또한, 이 시그니처 정보는 물체의 회전 각도에 비례한 수평이동이 정보로 나타나므로 수평이동 정도를 파악하여 회전 각도를 알 수 있다.

본 논문에서는 물체에 대한 시그니처 정보를 데이터베이스화 한 후, 데이터베이스 정보와 새로 얻은 물체의 시그니처와 비교함으로써 물체를 인식하는 알고리즘을 제안하였다.

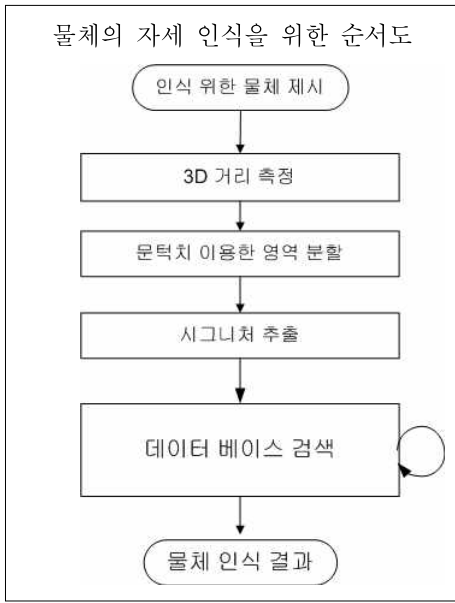


그림 3. 제안한 물체 및 자세 인식을 위한 처리 순서
 Fig. 3. Processing flow of the proposed object and pose recognition.

3.1 인식을 위한 segmentation

일반적인 물체 인식의 가장 첫 단계는 segmentation 단계이다. Model base, Feature matching base 등 segmentation 과정을 수행하지 않는 matching 방법도 있지만, 이러한 물체 인식 과정에서도 segmentation을 수행함으로써 인식 도메인을 줄일 수 있고, 배경이나 다른 물체와 섞여서 나오는 잡음에 강인한 결과를 가져 오게 된다.

그림 4는 실제 물체에 대하여 측정한 결과이다. 측정

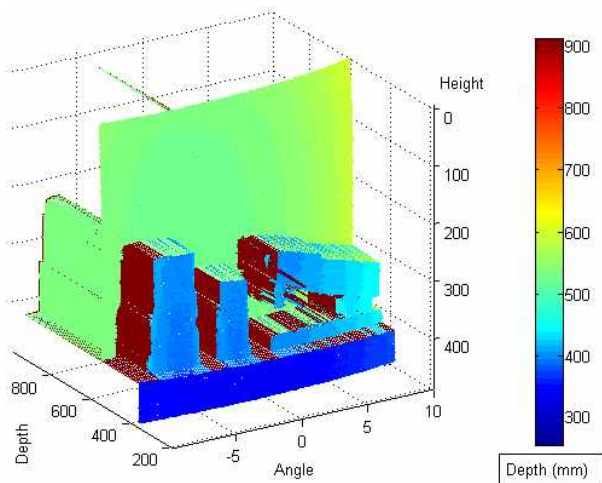


그림 4. 3차원으로 표현한 측정된 거리 값
 Fig. 4. Measured depth information expressed in 3 D.

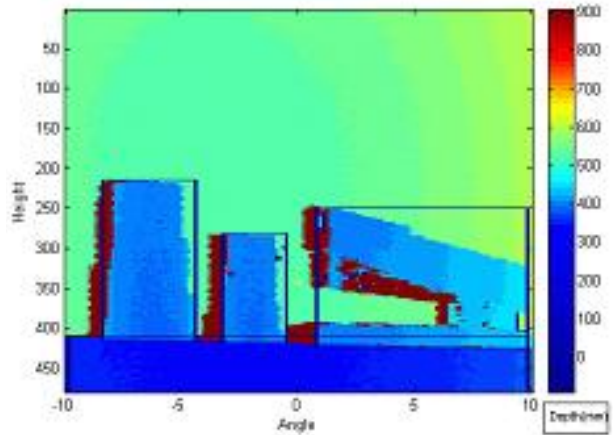


그림 5. 그림 4의 3 차원 거리 정보에 대한 segmentation 결과
 Fig. 5. Segmentation result of Fig. 4.

된 거리 값을 이용하여 3차원적인 모양이 표현 가능하며 선(line) 레이저를 이용하여 높이에 대해서 세밀한 영역까지 측정 가능하다. 큰 종이컵이 뒤집어 있는 모양을 하고 있다. 종이컵이 둥글기 때문에 종이컵의 중앙을 보면 이에 따른 거리 값이 달라짐을 확인할 수 있다.

회전 각도는 약 20°이며 거리는 약 300mm ~ 800mm 사이에 측정되었다. 종이컵과 스테이플러는 약 500mm에 위치하였으며 배경은 약 800mm에 있다.

측정된 거리 값의 유사도와 거리 값에 따른 연결 성분을 고려하여 각 영역을 segmentation하면 그림 5는 labeling된 결과와 실제 거리 데이터에 segmentation을 수행한 결과이다.

3.2 시그니처를 이용한 물체 인식

3차원 거리 측정 장치로부터 측정된 거리 정보를 이용하여 물체를 인식하고 자세를 알아내는데 시그니처 방법을 이용하였다. 시그니처란 그림 6과 같이 물체의 외곽선을 1차원 함수의 형태로 표현한 것으로서 물체 인식을 위한 중요한 feature로 사용된다. 물체의 외곽선에 대한 표현 방법은 여러 가지가 있지만 실험에서는 물체의 중심에서 외곽선까지의 거리를 각도의 함수로 나타내는 방법을 이용하였다. 즉, 본 논문에서의 시그니처란 물체의 외곽 경계의 위치를 물체의 중심점으로부터 극좌표로 표현한 다음, 다시 극좌표의 각도를 수평축, 거리값을 수직축에 도시한 1차원 그래프이다. 시그니처는 1차원 함수로 표현되므로 물체의 2차원 경계선으로 표현 할 수 있고, 1차원 함수의 차 연산을 통해

matching을 쉽게 할 수 있다는 장점이 있다. 일반적으로 시그니처는 이동에 불변이지만 회전과 크기 변화에 따라 달라진다. 그런데, 물체의 크기는 시그니처의 세로 축 값의 크기에 비례하므로 시그니처 값을 정규화하면 scale invariant feature가 된다. 다만, 회전된 물체의 경우에는 시그니처 그래프가 수평방향으로 이동되어 나타나므로, 그래프 이동정도에 의해 물체의 회전 자세를 인식할 수 있다.

이렇게 시그니처 방법을 이용하기 위해서 물체를 인식하기 위해서는 경계를 추적하여 하나의 행렬로 만들어야 한다. 즉, 영역의 경계에 대한 정보를 체인과 같이 정렬할 필요가 있다.

그림 6에서는 시그니처에 대한 예로서 물체의 외곽이 원형인 경우와 사각형인 경우를 보여주고 있다. 시그니처는 가로 축을 회전 각도로 표현하고, 세로축은 중심점으로부터 외곽선까지의 거리를 나타내므로, 그림 6(a) 같은 원형 물체에서 세로 축의 값이 일정한 A 크기를 갖게 된다. 그러나 그림 6(b)와 같이 물체가 4각형인 경우는 각도가 변함에 따라 거리 값이 증가와 감소를 반복하게 된다.

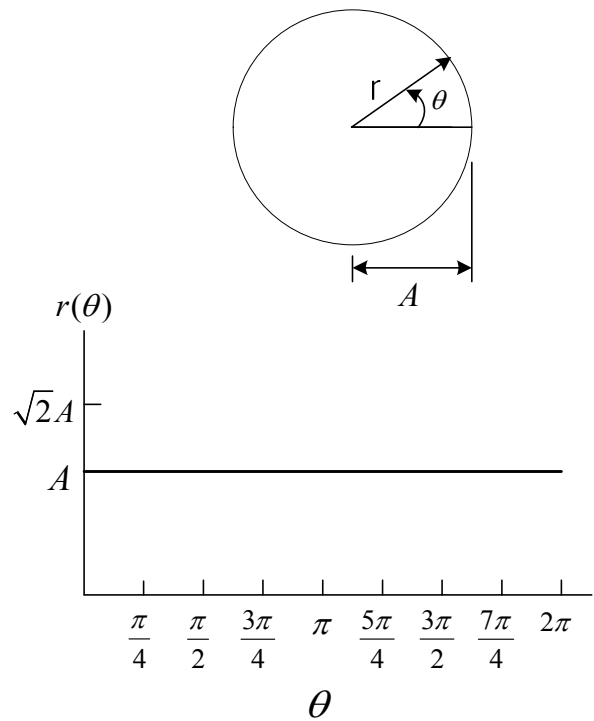
이러한 시그니처의 특징은 외곽 형태가 다른 물체에 따라서 각각 다르게 나타나며 같은 물체라 할지라도 자세에 따라 다르게 표현되므로, 시그니처 방법은 물체 인식과 자세 인식을 위한 효과적인 방법으로 이용될 수 있다.

시그니처의 특징 중 영상 내에서 이동에 대한 불변하는 특징은 물체의 형상을 인식하는데 중요한 기본 성질이다. 스캔한 영역 내에 물체가 어느 위치에 존재할지 알 수 없지만 영상에서 물체의 위치와는 무관하게 segmentation 된 영역에 대한 시그니처를 구하게 된다. 구해진 시그니처는 영상에서 위치와는 관계없이 같은 형상에 대해서 동일하게 나온다.

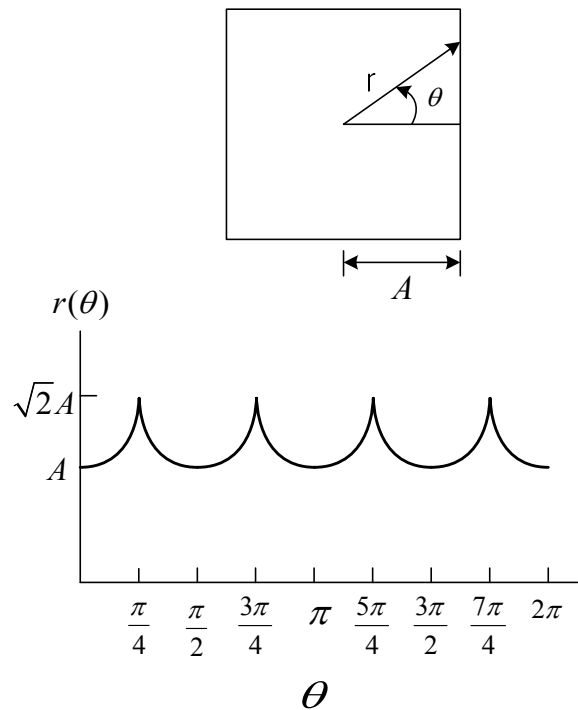
본 논문에서는 물체의 자세를 인식하기 위해서 회전된 물체의 시그니처를 데이터베이스에 저장하고 이를 segmentation된 영역의 시그니처와 비교함으로써 회전 정도를 인식할 수 있음을 보였다.

데이터베이스의 정보와 각 물체 및 자세를 인식하는 방법은 물체의 시그니처 정보를 데이터베이스 12가지 자세에 대한 시그니처의 차이를 구함으로써 수행한다. 구해진 차이의 합이 작을수록 비슷한 자세로 인식된다.

매칭이 성공적으로 이루어지면 물체가 존재하는 segmentation 영역을 분리해내고 해당 2차원 영상을 데



(a) 원의 시그니처



(b) 사각형의 시그니처

그림 6. 1차원으로 표현된 시그니처의 예
Fig. 6. Illustrations of one dimensional signatures.

이터베이스로부터 불러내어 최종적인 결과를 제시하게 된다.

제안한 알고리즘에서는 시그니처가 물체 표면의 무

닉에 무관하고 물체 외곽의 형상에 따라 시그니처가 달라지기 때문에 종이컵이나 stapler 같은 경우에는 각 자세에 따라 확실하게 다른 모양을 갖게 된다. 그러나 담배갑처럼 상하의 모양이 동일한 물체의 경우에는 동일한 시그니처값을 갖는다.

IV. 실험 및 검토

제안한 알고리즘의 검증을 위해서 시그니처 데이터베이스를 구축하였다. 데이터베이스에는 물체의 pose 정보, 시그니처 정보, 물체의 2차원 영상으로 구성된다. 물체의 자세는 총 12가지로 구분되어 저장되었다. 그림 7은 데이터베이스에 있는 담배갑의 2차원 영상과 시그니처 정보에 대한 부분으로서 12가지 자세에 대해서 각각 나타내었다. 또, 그림 8은 종이컵에 대한 시그니처 데이터베이스이고, 그림 9는 stapler 칩 박스에 대한 시그니처 데이터베이스이다.

물체 및 자세인식을 위한 사용자 인터페이스 화면도 구성하였다. 그림 10은 그림 3에 보여주는 물체 및 자세 인식을 위한 순서도에 따라 구현한 물체 및 자세 인

2D Image	Signature	2D Image	Signature

그림 8. 종이컵의 시그니처 데이터베이스
Fig. 8. Database of the signatures of cigarette pack.

2D Image	Signature	2D Image	Signature

그림 7. 담배갑의 시그니처 데이터베이스
Fig. 7. Database of the signatures of cigarette pack

2D Image	Signature	2D Image	Signature

그림 9. stapler 칩 박스의 시그니처 데이터베이스
Fig. 9. Database of the signatures of a stapler box.

식용 사용자 인터페이스 화면이다. 프로그램의 상단 좌측에 보이는 두 영상은 입력 영상으로서 2차원 영상이다. 오른쪽에는 질의한 물체와 segmentation된 영역의 개수 및 실제 처리한 segmentation 영역에 대한 정보가 나와 있으며 최종적으로 매칭이 성공한 영역과 데이터베이스의 자세에 대한 정보가 기록되어있다. 중앙에 위치한 세 그룹의 막대그래프는 각각의 segmentation 영역과 데이터베이스의 담배 갑 자세와 비교한 결과이다. 시그니처의 차이 값에 대한 함을 나타낸 그래프이다. 첫 번째 그룹은 배경 영역과 담배갑에 대한 12개의 다른 자세와의 차이 값을 보여 주고, 두 번째 그룹은 받침 영역과 담배갑에 대한 12개의 다른 자세와의 차이 값을 보여 주며, 세 번째 그룹은 입력의 담배갑과 다른 자세의 담배갑 영상간의 차이를 보여준다. 그림에서 오차가 작을수록 matching이 잘 됨을 의미한다. 이 예에서는 가장 작은 matching 오차값을 보이는 것은 세 번째 영역이며, 자세는 8번째와 12번째(stand) 자세이다. 두 영역에서 matching값이 동일한 이유는 그림 7 데이터베이스에서 보는 바와 같이, 담배갑은 바로 서 있는 경우와 뒤집혀서 있는 경우의 형상이 동일하기 때문인데, 어느 경우나 서 있는 담배 갑의 자세로 인식하고 있다.

위에서 얻은 segmentation 영역과 자세 정보를 응용 프로그램의 하단에 나타내었다. 왼쪽 부분에는 segmentation된 영역과 그 영상의 시그니처 정보를 보여주며 오른쪽에는 데이터베이스에 저장되어있는 2차원 영상과 그에 따른 시그니처 정보를 보여주게 된다. 측정된 영역에 대한 거리 정보도 제공하여 물체가 측정

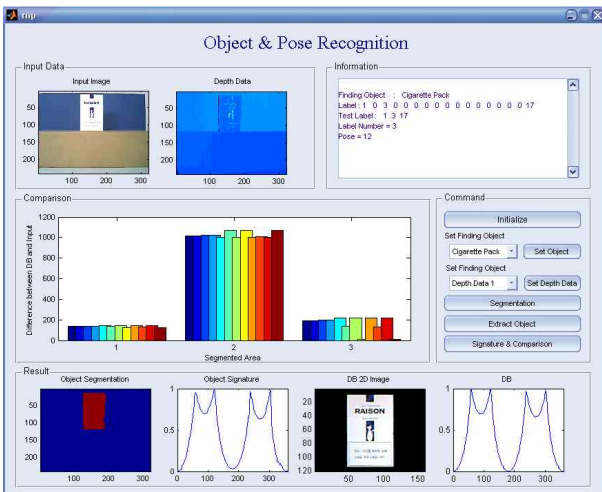


그림 10. 자세 인식 실험(담배갑을 이용한 실험)
Fig. 10. Pose recognition result of a cigarette pack.

장치로부터 얼마나 떨어져있는지를 알 수 있도록 한다.

이렇게 얻은 물체의 최종적인 결과는 스캔한 물체가 찾으려는 물체인지 알 수 있으며 동시에 자세에 대한 정보를 알 수 있다. 또한, 물체가 영상내의 어느 위치에 존재하는지 알아내어 로봇이 물체를 다루는데 필요한 위치 정보와 거리 정보를 동시에 제공할 수 있다.

그림 11은 종이컵 자세에 대한 인식 실험 영상이다. 종이컵의 경우 7번 자세(left down)가 결과로 나왔다. 그림 11의 7번째 데이터를 결과로 보여주게 된다.

다음 실험은 stapler 침 박스를 인식하는 실험이다. 그림 12는 그림9의 스테이플러 침 박스에 대한 데이터베이스를 이용한 자세 인식 실험 결과를 보여주고 있다. 스테이플 침 박스 같은 경우는 받침이나 배경의 부

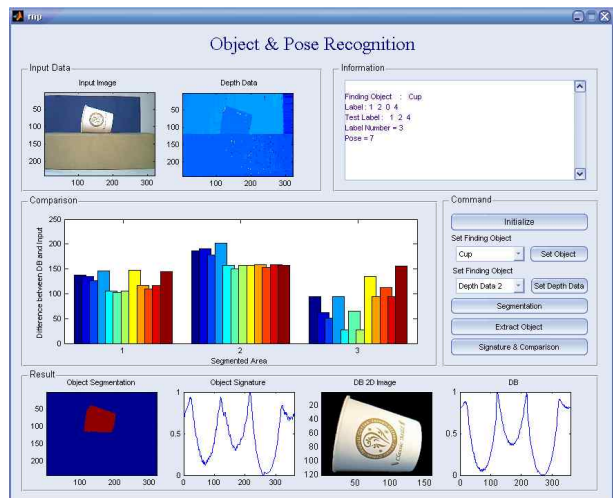


그림 11. 자세 인식 실험(종이컵을 이용한 실험)
Fig. 11. Pose recognition result of a paper cup.

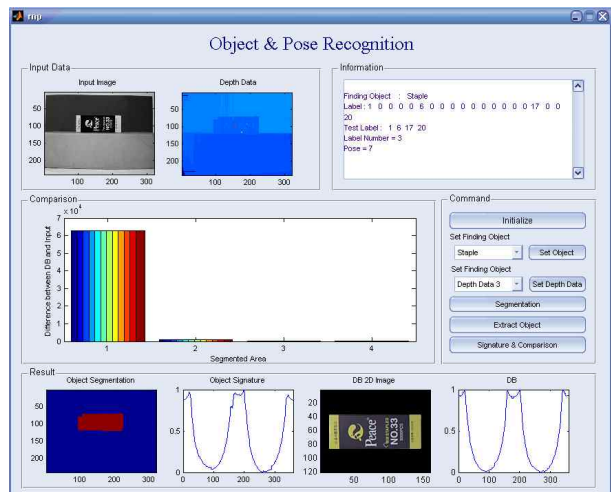


그림 12. 자세 인식 실험 화면 (stapler 박스)
Fig. 12. Pose recognition result of a stapler box.

분과 같이 가로방향이 긴 직사각형으로 되어 있어서 각 segmentation 영역마다 비슷한 오차를 가져왔다. 하지만 실제로 매칭 된 결과는 스테이플러 칩 박스와 가장 유사함을 알 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 카메라, 선형 레이저 및 회전 평면경을 이용한 거리측정 시스템을 활용하여 정밀한 3 차원 거리정보를 획득하고, 이를 활용하여 물체를 인식하는 방법에 관한 것이다.

카메라, 선형 레이저 및 회전 평면경을 이용한 거리 측정 시스템은 물체에 레이저를 조사함으로써 물체의 3 차원 정보를 얻는 시스템이다. 이 시스템을 사용하면, 작은 돌출부위에 대해서도 거리측정이 가능하고, 회전 거울을 이용하여 시스템 전체의 움직임 없이 주변 물체에 대한 넓은 범위의 거리 탐색이 가능하다.

본 논문에서는 상기의 거리 측정 장치를 활용하여 얻은 3 차원 거리 정보를 문턱치 처리함으로써 물체를 segmentation 한 후, segmentation된 영역의 시그니처를 구하고 데이터베이스의 시그니처와 비교하여 물체 인식하는 방법이다.

이러한 인식을 위해서 물체마다, 12 종류 이상의 자세에 대한 시그니처를 데이터베이스화 하였다. 실험을 수행해 본 결과, 실험에 사용한 모든 물체에 대해서, 물체가 놓여진 자세 및 위치에 관계없이 100% 인식이 되는 것을 확인하였다. 제안한 물체 인식방법은 물체의 크기나 자세와 무관하게 물체를 인식할 수 있으므로 향후, 물체 인식에 중요하게 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] W. Eric L. Grimson, "Computational experiments with a feature based stereo algorithm," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-7, no. 1, pp. Jan, 17 (1985)
- [2] M. El Ansari, L. Masmoudi, and L. Radouane, "A new region matching method for stereoscopic images," Pattern Recognition Letters, vol. 21, pp. 283-294, April (2000)
- [3] F. Candocia and M. Adjouadi, "A similarity measurement for stereo feature matching," IEEE Tr. on Image processing, vol. 5, pp.1460-1464, October (1997)
- [4] V. Srinivasan and R. Lumia, "A pseudo interferometric laser range finder for robot applications," IEEE Tr. on Robotics and Automation, vol. 5, no. 1, Feb. 1989.
- [5] M. Baba and T. Konishi, "Range imaging system with multiplexed structured light by direct space encoding," Proceedings of the 16th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, vol. 3, pp. 1437-1442, May 24-26, 1999.
- [6] P. M. Will and K. S. Pennington, "Grid coding: A preprocessing technique for robot and machine vision," Artificial Intelligence, vol. 2, pp. 319-329, 1971.
- [7] Y. Shirai and M. Suwa, "Recognition of polyhedrons with a rangefinder," International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp.80-87, (1971)
- [8] T. C. Strand, "Optical three-dimensional sensing for machine vision," Optical Engineering, vol. 24, no.1, pp. 33-40, (1985)
- [9] H. Kim, C. Lin, C. Yoon, H. Lee and H. Son, "A Depth Measurement System with the Active Vision of the Striped Lighting and Rotating Mirror," Lecture Note in Computer Sciences: Progress in Pattern Recognition, Image Analysis and Applications, vol. 3287, pp. 108-115, Oct. 2004.
- [10] 나상익, 손홍락, 김형석, "회전 평면경의 반사 영상을 이용한 단일 카메라 시스템의 거리측정 정밀도 분석, 대한 전자 공학회, Vol. 26. No. 1. pp. 2323-2326. 2003년 7월

저 자 소 개



김 성 찬(정회원)
2005년 전북대학교 전기전자공학
학사졸업.
2007년 전북대학교 제어계측공학
석사졸업.
2011년 현재 삼성전자 냉기SW부
선임연구원 재직.

<주관심분야 : 동적계획법, 패턴인식, 로봇비전>



김 중 만(정회원)
1996년 전북대학교 전기공학과
박사졸업.
2000년~현재 전남도립대학교
신재생에너지전기과
부교수

<주관심분야 : 동적계획법, 비선형 시스템, 신호
처리, CNN>



양 창 주(정회원)
2008년 전북대학교 전자정보
공학부 학사졸업.
2010년 전북대학교 전자정보
공학부 석사졸업.
2011년 현재 전북대학교 전자정보
공학부 박사과정.

<주관심분야 : 맵리스터, 아날로그 집적회로,
CNN, 로봇비전>



김 형 석(정회원)
1992년 University of Missouri,
Columbia, 졸업(박사)
2003년~현재 전북대학교 전자정
보공학부 교수

<주관심분야: 맵리스터, 로봇비전, 로봇센서 시스
템, 아날로그 병렬처리 회로>



이 준 호(정회원)
1998년 전북산업대학교
기계공학과 학사졸업
2000년 원광대학교 트라이블로지
석사졸업
2011년 전북대학교 메카트로닉스
공학과 박사졸업

2007년~현재 진우 SMC CEO
<주관심분야: 유압 최적화 회로 설계, 로봇비전>