

논문 2011-48SC-6-12

수중로봇을 위한 형태를 기반으로 하는 인공표식의 인식 및 추종 알고리즘

(Shape Based Framework for Recognition and Tracking of Texture-free Objects for Submerged Robots in Structured Underwater Environment)

한 경 민*, 최 현 택*

(Kyungmin Han and Hyuntaek Choi)

요 약

본 논문에서는 수중로봇에 쓰일 수 있는 카메라 영상을 기반으로 하는 인공표식의 인식 및 추종 기법을 제안한다. 문제를 풀기 위해 제안된 방법은 인식과 추종의 두 개의 단계로 이루어져 있으며 인식단계에서는 물체의 외형에 관한 특징을 분석한 후 비선형 최적화 알고리즘을 통하여 알맞은 목표물로 분류한다. 이 후 추종 단계에서는 분류된 목표물에서 색깔 히스토그램을 추출한 후 meanshift 추종 법을 이용하여 지속적으로 추종하는 방법을 택하였다. 히스토그램 매칭 시에는 Bhattacharyya 거리를 계산하는 방법을 이용하였다. 결과적으로 제안하는 접근법은 수중로봇의 영상처리 분야에 다음과 같은 공헌을 할 것으로 기대한다. 1) 제안하는 방법은 카메라의 움직임으로 생기는 물체의 자세변화나 크기 변화에도 강인하게 대처할 수 있으며 2) 카메라 센서를 통한 방법이므로 초음파 센서 등의 기기들에 비하여 가격 경쟁력이 우수하다. 3) 또한 본 논문에서는 일반적으로 많이 쓰이는 특징 점을 기반으로 한 방법이 탁도 변화에서는 형태를 기반으로 한 방법보다 열등할 수 있음을 실험을 통하여 보였다. 4) 마지막으로 제안된 방법의 성능을 기존의 방법들과 비교하여 수치적으로 검증해 보았다.

Abstract

This paper proposes an efficient and accurate vision based recognition and tracking framework for texture free objects. We approached this problem with a two phased algorithm: detection phase and tracking phase. In the detection phase, the algorithm extracts shape context descriptors that used for classifying objects into predetermined interesting targets. Later on, the matching result is further refined by a minimization technique. In the tracking phase, we resorted to meanshift tracking algorithm based on Bhattacharyya coefficient measurement. In summary, the contributions of our methods for the underwater robot vision are four folds: 1) Our method can deal with camera motion and scale changes of objects in underwater environment; 2) It is inexpensive vision based recognition algorithm; 3) The advantage of shape based method compared to a distinct feature point based method (SIFT) in the underwater environment with possible turbidity variation; 4) We made a quantitative comparison of our method with a few other well-known methods. The result is quite promising for the map based underwater SLAM task which is the goal of our research.

Keywords : Underwater Robot, Underwater Computer Vision, Object Recognition

I. 서 론

* 정희원, 한국해양연구원

(Korea Ocean Research & Development Institute)

※ 본 연구는 한국해양연구원의 “고정밀 임무수행을 위한 인공 지능 기반의 수중 로봇 기술 개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

접수일자: 2011년4월22일, 수정완료일: 2011년11월8일,

인지와 추종은 로봇 영상처리 분야에서 핵심적인 연구 주제이며 근래에도 많은 연구를 이루어져 왔고, 그 결과, 여러 가지 방법들이 개발되어졌다. 이들 중 색깔 히스토그램을 사용하는 meanshift 방법^[1~3]이나 특징

점을 이용한 방법들^[4~6] Bayesian 추정 법을 통한 추종 기법들^[7~8]은 많은 쓰임새를 보이고 있지만 이 분야는 여전히 까다로운 문제인 동시에 더욱더 많은 연구가 필요한 현실이다. 그 이유는 카메라 영상은 조명변화에 민감하게 변화하고 추종하고 있는 물체가 주변에 있는 물체와 겹쳐져 사라질 경우, 또는 추종중인 물체가 배경에 속하는 영상과 혼동되는 등의 경우는 아주 쉽게 접할 수 있는 문제들이기 때문이다.

여기에 로봇이 수중에서 활약해야 하는 경우 그 문제는 더욱더 어려워 질 수 있다. 수중에서 영상은 부유물량이나 오염도에 따라서 대체적으로 혼탁해 보일 뿐만 아니라, 가시거리에 많은 제약이 따른다. 이러한 이유로 과거의 수중로봇들은 초음파 센서처럼 능동적인 센서를 사용하는데 더 무게를 두고 있었다. 그러나 초음파 이미지는 영상의 질이 떨어져 정밀한 임무를 수행하기 어렵고 군사적으로 잠입이 필요한 임무에는 적절치 못한 문제가 있다. 또한 수중로봇은 점점 더 로봇으로서의 정밀하고 복잡한 임무수행이 필요함에 따라 수중로봇에게 영상처리 기능은 점점 더 요구되고 있는 현실이다.

본 논문의 연구목표는 수중로봇의 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 기능에 쓰일 인공표식물을 정확하게 인지하고 추종하는 방법의 개발이다. GPS는 수중환경에서 정상적으로 동작하기 어려우므로 인공 표식 물을 지도상에 배치하여 수중로봇으로 하여금 표식 물을 인지하고 현재 위치를 추정하는 방법^[9~10]이 많이 쓰인다. 따라서 현재 관찰중인 표식물과 지도상의 표식물과 정확히 대응 시키는 능력은 매우 중요한 연구 주제이다.

본 논문에서 제안하는 방법은 알고리즘을 인지와 추종단계로 나누고 인지단계에서는 형태를 분석하여 물체를 분류하고 추종단계에서는 meanshift 추종 법을 이용하였다.

II장에서는 수중로봇에 영상처리를 적용시킨 예들을 간략하게 돌아보고, III장에서 제안하는 접근법을 소개하고, IV장과 V장에서 각각 결과 및 결론 등을 다룬다.

II. 국내외 연구동향

수중에서의 영상처리는 탁도 등의 영향으로 많은 어려움이 따름에도 불구하고 많은 연구사례가 이어지고 있다. 탁도 변화에 대응하기 위해 [11]에서는 수중 카메라에 찍힌 사진의 질을 높이는 기술을 선보였다. 편광

필터를 카메라 앞에 붙여서 산란효과를 최소화하거나 [12]처럼 거리정보를 이용하여 영상을 복원하는 기술도 선보였다.

수중로봇은 특성상 바닥을 향하는 카메라로의 응용 분야가 많은데, 특히 [13]처럼 특징점 대응으로 인한 image mosaicking 이나 자세추정이 대표적 예이다. [14]에서는 4자유도 제어를 통하여 로봇이 기지에 온전히 정박하도록 하는 방법을 선보였다. [15,16,13]에서는 영상에서 추출한 특징 점을 지속적으로 추종하여 로봇의 자세를 추정하는 방법을 제안하였다. 특히 [16]에서 제안하는 방법에서는 매칭과정을 크게 두 단계로 나누어서 매칭하는 거리와 질감의 정보 모두 이용하였다. [17~18]에서는 AUV가 사람대신에 자동으로 바닥의 전선이나 파이프 선을 추적하는 방법을 선보였다.

바닥을 향하는 카메라뿐만 아니라 전방카메라 역시 많은 응용사례가 있다. [19]에서는 수중로봇이 자동으로 도킹을 하는 연구를 보였는데, 저자들이 제안한 방법은 한 개의 추진기를 가진 로봇이 4개의 LED를 향하여 접근하도록 하였다. [20]에서는 긴 수직 막대에 일정한 패턴을 집어넣고 Haar-like 특징점 [21]을 사용하여 로봇이 이를 찾아서 접근하는 방법을 소개하였다.

마지막으로, 영상정보를 추진기로 되먹임 시켜서 로봇을 제어하는 Visual Servoing 역시 많이 다루어지고 있는 연구 분야이다. [22]는 다양한 추적기를 이용하여 다양한 조명변화와 가시거리 변화에 어떻게 성능이 달라지는지를 연구하였다. [22,23,24,25]에서는 양서류에서 영감을 얻은 AQUA로봇을 통하여 사람과 로봇간의 상호작용을 제어하는 연구를 선보였다.

III. 본 론

위에서 언급한 것처럼 제안하는 방법은 인지와 추



그림 1. 왜곡된 영상(좌)과 보정후의 영상(우)
Fig. 1. A distorted image(left) and the corresponding undistorted image.

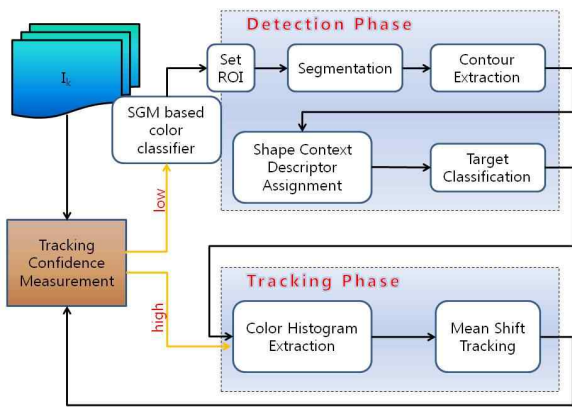


그림 2. 인지와 추종을 위해 제안하는 framework의 블록 다이어그램들과 알고리즘의 흐름도
Fig. 2. The pipeline of the proposed framework.

중, 두 개의 단계로 이루어져 있으며 전체적인 흐름은 [26]에 제안된 방법과 유사하다. 그림 2에는 알고리즘의 전체적인 흐름을 블록다이어그램 형식으로 나타내 보았다.

1. 카메라 보정

수중용 카메라는 일반적으로 많은 영역을 관찰할 수 반면에 왜곡이 심한 특징이 있다. 본 연구에서는 [27]을 이용하여 카메라 parameter 값들을 구한 후 Open CV 에서 제공하는 함수를 이용하여 영상을 보정하는 방법을 택하였다. 그림 1 은 왜곡된 영상과 보정이 끝난 후의 영상을 보여준다.

2. 인지 단계

인지단계의 핵심은 카메라가 이동해서 물체의 자세와 크기가 변하더라도 배경의 영상과 혼동 없이 물체를 구별해내는 능력에 있다. 이를 위해서 본 논문에서 쓰이는 표식 물체는 모두 무지향성의 물체들이다. 즉 물체들은 세로축을 기준으로 회전할 때 모두 같은 형태를 유지하게 되어있다. 따라서 로봇이 어느 방향에서 물체를 보더라도 항상 유사한 모양을 관찰하게 된다. 또한 물체들은 모두 질감이 없는 재질로 만들어졌으므로 일반적으로 많이 쓰이는 특징점^[4~6]을 기반으로 하는 방법들은 적용시키기 어렵다. 이는 본 논문의 결과란에 다루고 내용에 나타나 있듯이 특징 점을 이용하는 방법은 탁도 변화에 민감하게 변화하는 경향이 있기 때문이다.

2.1 단일 가우시안 함수를 통한 색깔의 구별법

타겟을 영상으로부터 빠른 분할을 위해서 관심 있는 색깔을 목표물로 인식하고 찾아낸 후 그 주변에 160×160 크기의 관심영역으로 잘라낸 후 관심영역 안에 영상만 분할을 시도하였다. 색깔 구별은 식 (1)처럼 단일 가우시안 함수를 통하여 실행하였다. 식 (1)에서 x 는 3차원의 색깔 벡터 u 와 Σ 는 각각 평균값과 공분산 행렬이며, 이들은 많은 영상들을 통하여 얻어진 값들이다. 즉 11,730,333의 타겟 픽셀들을 추출하여 가우시안 모델화 하였다. 분류법은 어떤 픽셀 x 가 주어졌을 때, 그 픽셀이 타겟에 속할 확률 $p(x)$ 은 어떤 문턱값 η 보다 클 때이다. 문턱값 η 는 경험적으로 추측하거나 ROC*곡선 분석을 통하여 얻을 수 있겠다.

$$p(x) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}|\Sigma|^{1/2}} \exp\left(-\frac{1}{2}(x-u)\Sigma^{-1}(x-u)\right) \quad (1)$$

2.2 Shape Context 디스크립터 기반의 접근법

영상의 분할이 끝나면 그림 4처럼 분할된 영상을 토대로 분할된 영역의 외곽에 해당하는 등고선을 찾아낸 후 등고선에 속하는 픽셀들을 이용하여 템플릿으로 가지고 있는 등고선 이미지들과 비교함으로써 그 유사성을 찾아본다. [32]의 기법에 의하면 영상에 보이는 어떤 물체의 등고선에 속하는 픽셀들은 다른 픽셀들과 관계를 Log-Polar 히스토그램을 통하여 암호화 할 수 있다.

외형이 추출된 외형에 속한 픽셀들과 모델 외형에 속한 픽셀들 간에 일대일 매칭이 이루어진다면 두 픽셀 그룹 사이에는 카메라의 회전변환이 없다고 가정할 때 변환식 $H = \begin{bmatrix} \lambda I & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 가 존재한다. λ 와 T 는 각각 스케일 변환 값과 평행이동 벡터를 의미한다. 그러므로 N

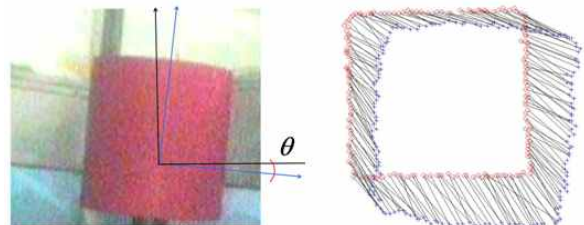


그림 3. 단순한 Shape Context를 이용한 매칭의 예
Fig. 3. An example of shape context based matching.

* Receiver Operating Characteristic

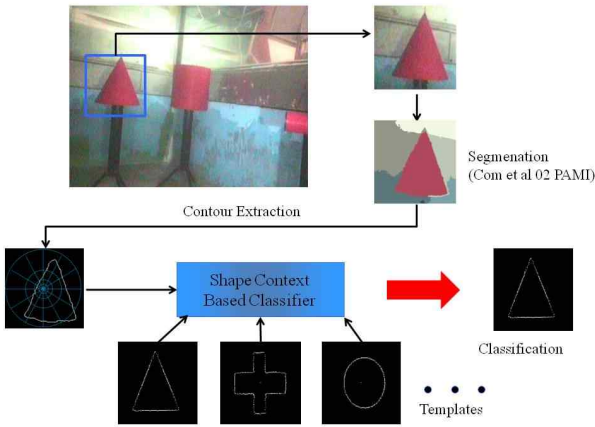


그림 4. 관찰된 표식 물을 인지해가는 과정
Fig. 4. The recognition process.

개의 픽셀 매칭들이 존재할 때 추출된 외형에 속한 픽셀들, \mathbf{m} 과 모델 템플릿에 포함된 픽셀들, \mathbf{M} 은 $\mathbf{M} = \mathbf{Hm}$ 또는,

$$\begin{bmatrix} u_1 & v_1 & u_2 & v_2 & \dots & u_n & v_n \\ 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \lambda \\ t_x \\ t_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_1 & \dots & x_n \\ y_1 & y_1 & \dots & y_n \end{bmatrix}^T \quad (2)$$

의 관계식이 성립한다.

$\mathbf{X} = [\lambda, t_x, t_y]$ 라 놓으면 위의 식은 $\mathbf{AX} = \mathbf{b}$ 꼴로 표현 될 수 있으며 우리가 원하는 해는 $\mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b}$ 로 구할 수 있다.

2.3 비선형 최적화를 통한 접근법

그러나 위의 식 (2)처럼 least-square method를 이용한 방법은 다음과 같은 이유로 인하여 잘못된 해를 낼 수 있다. 첫째 Shape Context는 완벽한 대응점을 찾지 못하며 둘째로는 식 (2)으로는 카메라가 움직임에 따라 생기는 물체의 자세를 찾아낼 수 없다. 그림 3 에는 Shape Context를 이용한 전형적인 매칭결과의 예를 보여준다. 많은 점들이 잘못되게 매칭 됨을 볼 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 제안하는 방법은 비선형 최적화를 추가하는 방법이다.

최적화 과정은 직교좌표계의 점들을 극좌표계로 변환한 뒤 N개의 대한 M과 m 점들의 similarity 변환 행렬 $\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \lambda \mathbf{R}(\theta)^T & \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix}$ 를 구하기 위하여 쓰인다. $\mathbf{R}(\theta)$ 는 2×2 의 회전변환 행렬이며 λ 와 \mathbf{T} 는 각각 스케일 값과 이동거리에 관한 벡터이다. 따라서 이러한 변수들은 목적함수 (3)이 최소화 될 때 구할 수 있다.

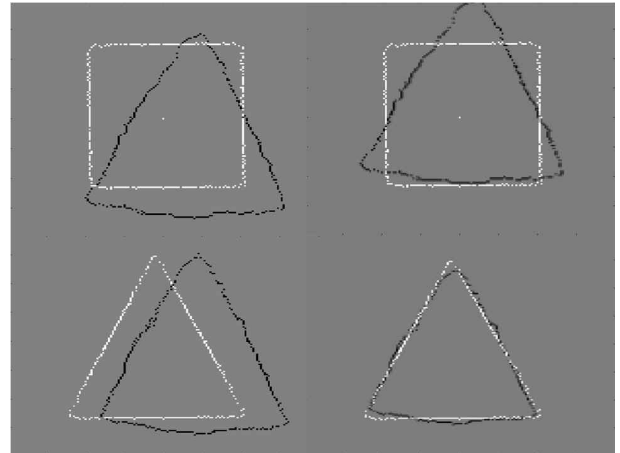


그림 5. 잘못된 매칭의 예 (a, b) 와 올바른 매칭의 예 (c, d)
Fig. 5. Examples of wrong matching (a, b) and correct matching cases (c, d).

$$\sum_k \| \mathbf{M}_k - \mathbf{m}(\mathbf{m}_k, \theta, \lambda, t_x, t_y) \|^2 \quad (3)$$

식 (3)에서 $\mathbf{m}(\mathbf{m}_k, \theta, \lambda, t_x, t_y)$ 은 변환이후의 점들이며 그림 5에서는 매칭과정의 예를 시각적으로 표현하고 있다. 좌측상단과 우측 상단에 위치한 그림들은 잘못된 매칭이 일어난 경우인 반면, 좌측 하단과 우측 하단에 위치한 그림들은 원하는 매칭이 일어난 경우이다.

2.4 회전각도 θ 추정법

그러나 위에 소개된 해는 카메라가 회전함에 일어나는 영상 회전에 대해 해결책을 제시 하지 못한다. 영상 회전을 복원하기 위해서 [10]에서는 주어진 두 개의 픽셀 좌표들을 각각 \mathbf{X}_1 과 \mathbf{X}_2 라 할 때 $\mathbf{X}_1^T \mathbf{X}_2$ 의 특이값 분해를 통해 얻은 $[U, D, V^T]$ 에서 \mathbf{X}_1 과 \mathbf{X}_2 를 일치시키는 회전변환 행렬은 VU^T 와 같다고 증명한다. 또 다른 방법은 Procrustes Analysis^[35]를 적용하는 것인데, 문제는 이 두 가지 방법 모두 \mathbf{X}_1 과 \mathbf{X}_2 의 대응관계를 알아야 한다는 것이다. 본 연구에서 다루는 문제에서는 두 그룹들 간에 대응관계를 알아내는 것이므로 이 두 가지 방법은 적용하기 어렵다. 따라서 제안하는 방법은 우선 각각의 좌표를 (0,0)을 기준으로 표준화한 후 polar 좌표계로 변환 시킨다. 변환된 좌표를 X,Y 축이 각각 angle 과 magnitude로 된 그래프로 표현하면 그림 6 (d) 와 같다. 두 그래프의 magnitude를 각각 f_1 과 f_2 라 하면 두 형태를 일치시키는 각도는 결과적으로 식 (2)을 최소화 시키는 각도 θ 이다. 알고리즘 1에는 회전 각

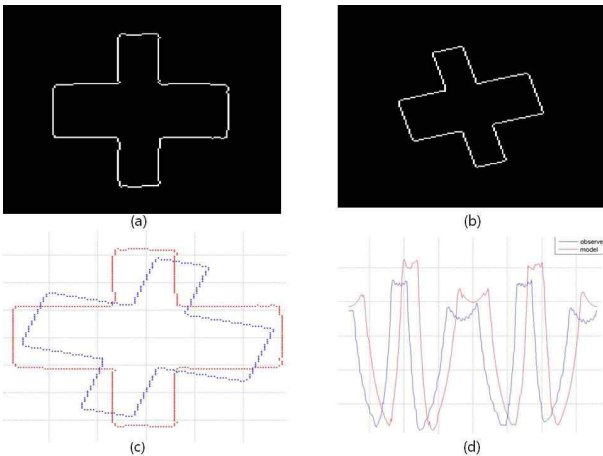


그림 6. (a), (b), (c), (d)는 각각 모델 템플릿의 외형, 실제 영상에서 보인 외형, 두 외형이 겹쳐진 모습, 그리고 angle vs magnitude 그래프

Fig. 6. A sequence of angle estimation process: (a) the model shape and (b) manipulated shape are translated and uniformly scaled, then superimposed together in (c). Each point in (c) is transformed into a point in polar coordinate frame, then drawn in (d) as an angle vs. mag graph.

도를 구하는 단계들을 정리해 보았다.

$$\sum \| f_1(x) - f_2(x + \theta) \| \tag{4}$$

1. 각 형태의 외형에서 중심점을 뺀다. $(x, y) = (u - \bar{u}, v - \bar{v})$
2. 각각 형태의 스케일로 나눈다.
3. $(x', y') = (x/s, y/s), s = \sqrt{\frac{x_1^2 + y_1^2 + \dots}{n}}$
4. 좌표 (x', y') 를 polar coordinate로 변환한다.
5. (2)를 최소화하는 각도(θ)를 찾는다.

알고리즘 1 회전 각도를 구하기 위해 제안하는 알고리즘

3. 추종 단계

추종단계에서는 물체의 색깔 히스토그램을 취한 후에 meanshift [1] 기법을 이용하여 지속적으로 추종하는 방법을 사용하였다. meanshift 기법은 추종하고자 하는 물체의 색깔 히스토그램과 현재 관찰중인 물체의 색깔 히스토그램과의 거리를 지속적으로 비교하고 분포하는 히스토그램의 mod를 향하여 지속적으로 window를 이동하는 방식이다. 두 개의 히스토그램을 비교할 때에는 식 (5)처럼 Bhattacharyya 거리를 계산하여 실행하였다. Bhattacharyya 거리를 이용한 수중에서 meanshift 기법은 [22]에서 연구한바 있다.

$$\rho(H, K) = \sum \sqrt{k_i h_i} \tag{5}$$

식 (5) 에서 h_i 와 k_i 는 H 와 K 의 i 번째 bin에 해당하는 색깔 히스토그램이다.

IV. 실험

1. 가상데이터 실험

실제 수중 실험을 위한 표식 물을 제작하기 전에 우선 10개의 가상이미지를 만들어 제안된 알고리즘을 실험해 보았다. 가상이미지 실험은 어떠한 형태의 인공표식물의 조합이 제안된 알고리즘에 적합한지 미리 알아봄으로써 인지가 불가능한 형태의 물체들의 제작을 사전에 방지할 수 있다. 실험에 쓰인 가상 데이터들은 그

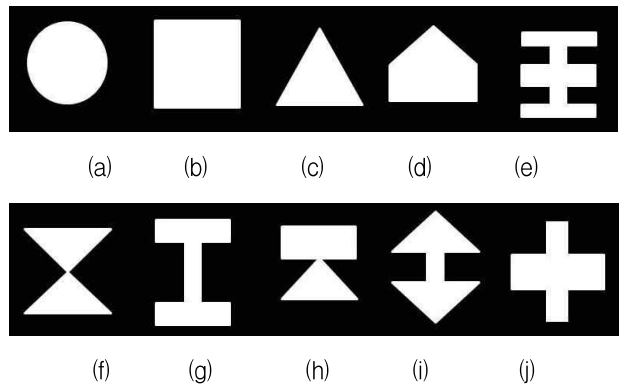


그림 7. 모의실험을 위해 만들어진 물체들
Fig. 7. Synthetic image data set.

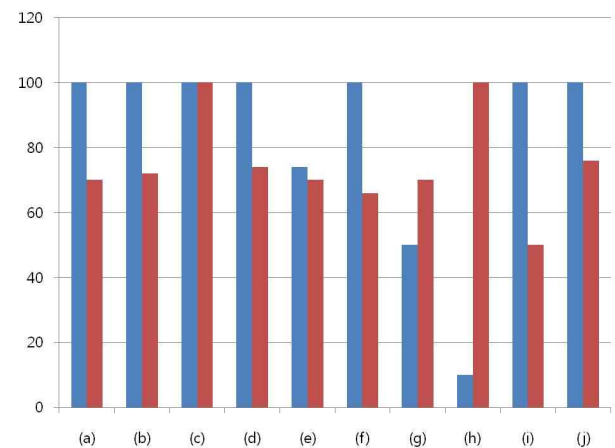


그림 8. Shape context와 제안된 알고리즘 간에 성능 비교

Fig. 8. A comparison between the proposed method (blue bars) and the original shape context method (red bars).

림 7 과 같다. 실험방법은 각각의 가상물체들에 [-45도, 45도]영역에 속하는 임의의 회전변환과 5와 3 사이의 값들 중 임의의 값을 크기변환으로 가하여 각각의 이미지마다 100개의 변환된 이미지를 만들어서 제안된 알고리즘으로 물체를 인지해내는 결과와 본래의 Shape Context 알고리즘을 이용한 결과와 비교해보았다. 그림 8 에는 각각의 물체들에 대하여 두 개의 알고리즘이 어떠한 성능을 나타내었는지 막대형식 그래프로 나타내어 보았다. Shape Context 이용한 방법은 대체로 평이한 성능을 보인 반면 제안된 알고리즘은 몇몇의 형태들을 제외하고는 굉장히 우수한 성능을 보였다.

2. 수조에서 실험

yShark는 현재 한국해양연구원에서 개발 중인 수중로봇이다^[37]. 실험을 위해 전방 카메라를 장착한 후 해양공학관의 trim 수조에 4가지의 표식 물을 투입하고 이후 yShark가 직접 잠수하여 표식 물을 촬영하였다. 이렇게 취득한 데이터는 제안된 알고리즘을 검증하는 쓰였다. 알고리즘을 테스트할 때에는 영상위에 각각의 형태에 해당하는 삼각형, 동그라미, 사각형, 십자가들을 표시하였다. 그림 9에는 각 영상에 대한 분류 후의 결

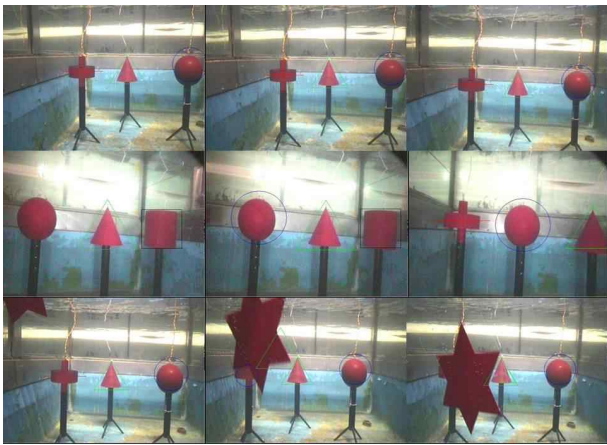


그림 9. 수중에서 인식 실험 결과
Fig. 9. Tracking results at two different camera distances.

표 1. 제안된 알고리즘과 현존하는 다른 알고리즘과의 성능 비교 분석
Table 1. Correct detection rates of the real objects.

	Shape Context	Hu moment	Proposed method
분류 정확도 %	80.80	71.95	94.43

과를 보여준다.

또한 공정한 검증을 위해서 제안된 알고리즘은 Hu moment^[36]와 Shape Context법과 비교해 보았고 그 결과를 표 1에 정리하였다.

3. 탁도 변화에 대한 실험

수중 영상처리는 공기 중에서보다 많은 변수들이 작용한다. 특히 탁도의 변화는 중요하게 대비할 문제이다. 이에 본 절에서는 탁도 변화에 대하여 형태를 기반으로 한 방법과 특징 점을 기반으로 한 방법들을 실험을 통해서 비교 분석해보았고 과연 어떤 방법이 물체인식에 유리할지를 고찰해 보았다. 실험방법은 우선 초기조건의 작은 수조에 여러 가지 사진들을 집어넣고 SIFT^[4] 알고리즘과 형태를 기반으로 한 알고리즘들을 검증해보고 이후 탁도를 초기조건에서 2배를 증가시켜서 같은 실험을 반복하였다. 그림 10에는 증가된 탁도에 SIFT 알고리즘과 형태기반의 방법의 성능이 어떻게 변화하는지 보여준다. 탁도 변화는 Kaolin 가루를 이용하였으며 초기 값은 2.53NTU 증가된 탁도 값은 5.23NTU 이었다. 탁도가 2배로 증가하자 SIFT 알고리즘은 매칭 되는 특징 점의 숫자가 큰 폭으로 감소하는 반면 형태를 기반으로 하는 방법은 어느 정도의 탁도 증가에도 비교적 강인하게 물체의 외형을 잡아 낼 수 있었다. 따라서 비교적 많이 쓰여 지는 특징 점을 이용하는 방법은 수중에서는 정확도가 떨어 질 수 있음에 주목하자.

VI. 결 론

본 논문에서는 수중로봇에 쓰이는 영상 기반의 물체 인식 방법과 추종 방법에 대해 연구해보았다. 소개된 방법은 크게 인식단계와 추종단계로 나누어지며 인식 단계에서는 형태를 추종단계에서는 색깔을 주요한 feature로 사용하였다. 이 방법은 실제데이터를 통하여 기존의 다른 알고리즘들과 비교해 보았다. 또한 형태를 기반으로 한 방법이 특징 점을 기반으로 한 방법보다 유리할 수 있음을 탁도 변화 실험을 통해 검증해 보았다.

참 고 문 헌

[1] R. Collins., "Mean-shift blob tracking through scale space," in IEEE Conference on Computer

- Vision and Pattern Recognition, vol. II pp. 234 - 240, 2003. Madison, Wisconsin.
- [2] D. Comaniciu and P. Meer, "Mean shift: A robust approach toward feature space analysis," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, June 2000. Hilton Head, SC.
- [3] R. D. Changjjang Yang and L. Davis, "Efficient mean-shift tracking via new similarity measure," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2005. Sandiego, USA.
- [4] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," *International Journal of Computer Vision*, vol. 60, no. 2, 2004.
- [5] T. T. Herbert Bay, Andreas Ess and L. V. Gool, "Surf: speeded up robust features," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 10, pp. 346 - 359, 2008.
- [6] J. Shi and C. Tomasi, "Good features to track," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 593 - 600, June 1994. Seattle, USA.
- [7] M. Isard and A. Blake, "Condensation - conditional density propagation for visual tracking," *International Journal of Computer Vision*, vol. 29, no. 1, pp. 5 - 28, 1998.
- [8] P. Djuric and M. F. Bugallo, "Improved target tracking with particle filtering," in *IEEE, International Aerospace conference*, pp. 1 - 7, 2009. Big Sky, MT, USA.
- [9] G. N. DeSouza and A. C. Kak, "Vision for mobile robot navigation: A survey," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 2, pp. 237 - 267, 2002.
- [10] J. Borenstein, H. R. Everett, and L. Feng, eds., *Navigating mobile robots: systems and techniques*. Wellesley, Mass. : A K Peters, 1996.
- [11] Y. Y. Schechner and N. Karpel, "Clear underwater vision," in *IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 536 - 543, 2004.
- [12] N. Carlevaris-Bianco, A. Mohan, and R. M. Eustice, "Initial results in underwater single image dehazing," in *IEEE Oceans 2010*, pp. 1 - 8, 2010.
- [13] R. Garcia, J. Battle, X. Cufi, and J. Amat, "Positioning an underwater vehicle through image mosaicking," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2001.
- [14] R. L. Marks, H. H. Wang, M. J. Lee, and S. M. Rock, "Automatic visual station keeping of an underwater robot," in *Oceans 94. 'Oceans Engineering for Today's Technology and Tomorrow's Preservation.'* Proceedings, pp. 137 - 142, 1994.
- [15] van der Zwaan and S.-V. J., "Real-time vision-based station keeping for underwater robots," in *IEEE Oceans 2001*, 2001.
- [16] X. Cufi, R. Garcia, and P. Ridao, "An approach to vision-based station keeping for an unmanned underwater vehicle," in *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2002.
- [17] J. Antich and A. Ortiz, "Underwater cable tracking by visual feedback," *Pattern Recognition and Image Analysis*, vol. 2652/2003, pp. 53 - 61, 2003.
- [18] A. Ortiz, M. Simo, and G. Oliver, "A vision system for an underwater cable tracker," *Machine Vision and Applications*, pp. 129 - 140, 2002.
- [19] P. mook Lee, B. hwan Jeon, and S. moon Kim, "Visual servoing for underwater docking of an autonomous underwater vehicle with one camera," in *AI Magazine*, pp. 677 - 682, 2003.
- [20] F. Maire, D. Prasser, M. Dunbabin, and M. Dawson, "A vision based target detection system for docking of an autonomous underwater vehicle," in *Australasian Conference on Robotics and Automation(ACRA)*, Dec 2009, Sydney, Australia, 2009.
- [21] P. Viola and M. J. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," in *IEEE CVPR*, 2001, pp. 511 - 518, 2001.
- [22] J. Sattar and G. Dudek, "On the performance of color tracking algorithms for underwater robots under varying lighting and visibility," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2006.
- [23] J. Sattar, G. Dudek, O. Chiu, I. Rekleitis, P. Giguere, A. Mills, N. Plamondon, C. Prahacs, Y. Girdhar, M. Nahon, and J.-P. Lobos, "Enabling autonomous capabilities in underwater robotics," in *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2008.
- [24] G. Dudek and J. Sattar, "Sensor-based behavior control for an autonomous underwater vehicle," in *International Symposium on Experimental Robotics*, 2006.
- [25] B. Verzijlenberg and M. Jenkin, "Swimming with robots: Human robot communication at depth," in *IEEE International Conference on Intelligent*

- Robot and Systems, 2010.
- [26] K. min Han and G. N. DeSouza, "Target geolocation from airborne video without terrain data," *Journal of Intelligence and Robotics Systems*, 2010.
- [27] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, pp. 1330 - 1334, 2000.
- [28] J. Yang and A. Waibel, "A real-time face tracker," in *Proceedings of the third IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, WACV96*, 1996.
- [29] A. W. J. Yang, W. Lu, "Skin-color modeling and adaptation," in *ACCV*, 1998.
- [30] L. Fan and K. Sung, "Face detection and pose alignment using colour, shape and texture information," in *Proc. Visual Surveillance 2000*.
- [31] B. Menser and F. Muller, "Face detection in color images using principal component analysis," in *Proc. Image Processing and its Applications*, 1999.
- [32] J. M. Serge Belongie and J. Puzicha, "Shape matching and object recognition using shape contexts," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp. 509 - 522, 2002.
- [33] P. T. A. Thayanantha, B. Stenger and R. Cipolla, "Shape context and chamfer matching in cluttered scenes," in *International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2003.
- [34] F. L. Bookstein, "Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group differences in outline shape," *Medical Image Analysis*, pp. 225 - 243, 1996.
- [35] D. G. Kendall, "A survey of the statistical theory of shape," *Statistical Science*, pp. 87 - 99, 1989.
- [36] M. K. Hu, "Visual pattern recognition by moment invariants," *IRE Tran. Info. Theory*, pp. 179 - 182, 1962.
- [37] K. Han and H. Choi, "지능형 수중로봇의 연구 동향과 수중 영상처리 소개," *전자공학회지*, 제38권, 7호, pp. 37-41, 2011

 저 자 소 개



한 경 민(정회원)
 2004년 U of Missouri 전자공학과
 학사
 2006년 U of Missouri 석사
 2010년 U of Missouri 전자공학과
 박사 졸업.

<주관심분야 : 로봇공학, 컴퓨터 비전, 위치추정>



최 현 택(정회원)
 1991년 한양대학교 전자공학과.
 1993년 한양대학교 전자공학과
 석사
 2000년 전자공학과 박사 졸업.
 <주관심분야 : 수중로봇, 로봇제어>