

해파리 퇴치용 자율 수상 로봇의 설계 및 구현

Design and Implementation of Unmanned Surface Vehicle JEROS for Jellyfish Removal

김 동 훈¹, 신 재 욱², 김 형 진³, 김 한 근⁴, 이 동 화⁵, 이 승 목⁶, 명 현[†]

Kim Donghoon¹, Shin Jae-uk², Kim Hyongjin³, Kim Hanguen⁴,
Lee Donghwa⁵, Lee Seung-Mok⁶, Myung Hyun[†]

Abstract Recently, the number of jellyfish has been rapidly grown because of the global warming, the increase of marine structures, pollution, and etc. The increased jellyfish is a threat to the marine ecosystem and induces a huge damage to fishery industries, seaside power plants, and beach industries. To overcome this problem, a manual jellyfish dissecting device and pump system for jellyfish removal have been developed by researchers. However, the systems need too many human operators and their benefit to cost is not so good. Thus, in this paper, the design, implementation, and experiments of autonomous jellyfish removal robot system, named JEROS, have been presented. The JEROS consists of an unmanned surface vehicle (USV), a device for jellyfish removal, an electrical control system, an autonomous navigation system, and a vision-based jellyfish detection system. The USV was designed as a twin hull-type ship, and a jellyfish removal device consists of a net for gathering jellyfish and a blades-equipped propeller for dissecting jellyfish. The autonomous navigation system starts by generating an efficient path for jellyfish removal when the location of jellyfish is received from a remote server or recognized by a vision system. The location of JEROS is estimated by IMU (Inertial Measurement Unit) and GPS, and jellyfish is eliminated while tracking the path. The performance of the vision-based jellyfish recognition, navigation, and jellyfish removal was demonstrated through field tests in the Masan and Jindong harbors in the southern coast of Korea.

Keywords: Jellyfish Removal, Unmanned Surface Vehicle (USV), Navigation, Vision processing, Object detection

1. 서론

최근 증가한 해파리가 해양 생태계에 문제가 되고 있다. 과학자들은 지구 온난화 등에 따른 해양 생태계 변화와 해양 생물의 남획으로 인한 천적 생태계 파괴, 해양 오염, 해양 구조물의 증가로 인한 해파리 증식 환경 등을 그 원인으로 분석하고 있다. 국내에서는 2000년 이후로 보름달물해파리, 노무라입깃해파리 등의 유해 해파리 개체수가 꾸준히 증가하여, 각종 어업 피해, 발전소의 취수 방해, 해수욕장 주변의 인적, 물적 피해 등이 연간 최대 3천억원에 달하고 있다^[1]. 특히, 어업 분야에서는 해파리에 의한 어구 파손, 어획물 상품성 하락 등 피해가 발생하고 있다. 이러한 피해를 막고자 국내외에서 해파리 퇴치 연구가 진행되었다. 어업 분야에서는 해파리 절단용 칼날 망과 기타 어류 분리 배출용 어망을 장착한 저인망 어선을 개발하고, 심해의 해

Received : Nov. 12. 2012; Reviewed : Dec. 14. 2012; Accepted : Jan. 12. 2013

※ This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (grant number 2012-0003897). It was also supported by the Ministry of Knowledge Economy (MKE), Korea, under the Human Resources Development Program for Convergence Robot Specialists support program supervised by the National IT Industry Promotion Agency (NIPA) (NIPA-2012-H1502-12-1002). Additionally, it was supported by Korea Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM) as U-City Master and Doctor Course Grant Program.

[†] Corresponding author: Civil&Environmental Engineering, KAIST, Daehak-ro 291, Yuseong-gu, Daejeon, Korea (hmyung@kaist.ac.kr)

¹ Robotics Program, KAIST (dh8607@kaist.ac.kr)

² Robotics Program, KAIST (jacksju@kaist.ac.kr)

³ Civil & Environmental Engineering, KAIST (hjkim86@kaist.ac.kr)

⁴ Civil & Environmental Engineering, KAIST (sskhk05@kaist.ac.kr)

⁵ Civil & Environmental Engineering, KAIST (leedonghwa@kaist.ac.kr)

⁶ Civil & Environmental Engineering, KAIST (seungmok@kaist.ac.kr)

파리 제거에 활용하고 있다^[2-4]. 발전소에서는 취수구 해파리 유입 방지를 위해 기포를 이용한 해파리 부양 및 인양 장치와 카메라와 펌프를 이용한 해파리 인식 및 배출 장치^[5]가 개발되었다. 하지만 이 연구들은 많은 인력을 필요로 하거나, 자율 운용이 어려운 단점이 있다. 본 연구팀은 무인 수상선 기반의 해파리 제거 로봇을 개발하고 실험을 통해 가능성을 확인하였다^[6,7].

본 논문에서는 기존 무인 수상선 기반의 해파리 제거 로봇 시스템을 개선한 시스템의 설계와 구현, 그 성능 실험에 대한 내용을 다루고 있다. 2절에서는 기존 시스템보다 크고 안정적인 선형으로 설계하였고, 절단 장치를 추가하여 절단 성능을 향상시킨 해파리 제거 장치를 설계하였다. 그리고 로봇 내비게이션과 제어를 위한 전장 제어 시스템과 알고리즘, 향상된 영상 기반 해파리 인식 알고리즘에 대해 다루었다. 3절에서는 해파리 인식 알고리즘과 내비게이션 알고리즘 실험, 해파리 제거 성능에 대한 실험을 통해 성능을 확인하였다.

2. JEROS의 설계 및 구현

이 절에서는 JEROS의 설계 및 구현에 대해 소개한다. JEROS는 무인 수상 선에 기반한 로봇으로, 선체 및 선체의 제어를 위한 전장 제어 시스템, 자율 운항을 위한 내비게이션(navigation) 시스템, 해파리 인식을 위한 영상 처리 알고리즘으로 구성된다.

2.1 선체 설계

본 연구에서는 그림 1과 같은 쌍동선^[5] (twin-hull-type ship) 형태의 USV를 설계하였다. 이 USV는 두 개의 원통 형태의 속이 빈 내압용기(hull)와 해파리 제거 장치, 전장 제어 시스템이 장착되는 본체(body), 내압용기와 본체를 연결하는 링크(link), 두 개의 추력기(thruster)로 구성되어 있다. 두 개의 평행하게 배치된 내압용기는 로봇 전체에 부력을 제공하므로, 측면 방향으로의 회전에 안정적이고, 단동선형(mono-hull-type ship)에 비해 파도나 바람 등의 외란에 안정적인 편이다. 두 개의 추력기는 로봇의 진행 방향에 대한 유체의 저항을 최소화 하고, 주행 성능을 높일 수 있도록 각 내압용기의 뒷부분에 배치되었다. 로봇의 아래에는 해파리를 수집 및 절단하는 장치가 장착되어 있다. 이 장치는 크고 작은 두 개의 사각형의 프레임과 3개의 해파리 절단용 날과 수중 모터로 구성되어 있다. 전방의 큰 프레임에 유입된 해파리는, 두 프레임 사이에 연결된 매끄러

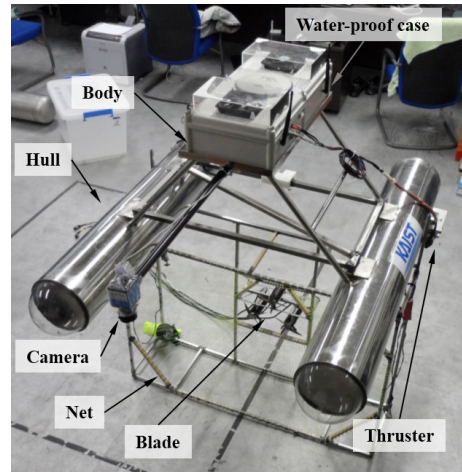


Fig. 1. Autonomous surface robot platform JEROS

운 재질의 프레임을 통해 후방의 작은 프레임까지 이송되며, 후방의 프레임에 장착된 해파리 절단 장치에 의해 제거된다.

2.2 전장 제어 시스템

로봇의 전장 제어 시스템은 센서, 프로세서, 제어기 등으로 구성된다. 이 시스템은 방수 케이스 내부에 방열 팬과 함께 내장되어, 그림 1과 같이 JEROS의 상단 본체에 장착된다. 그 중 센서는 카메라와 GPS, IMU (Inertial Measurement Unit)로 구성된다. 카메라는 그림 1과 같이 로봇의 전방 0.5m 거리, 수면에서 0.6m 정도의 높이에 수면에 수직하게 설치되어, 수면의 반경 0.6m 범위에 보이는 수면 아래의 해파리를 인식하는데 사용된다. GPS는 로봇의 절대 위치를 1.5m 이내의 오차와 함께 제공하며, IMU는 지구 좌표 계에 대하여 절대 방향 정보를 제공한다. 그리고 로봇의 내비게이션 및 제어 알고리즘 등의 연산을 위한 컴퓨터(SBC, single board computer)와 마이크로프로세서(microprocessor)가 내장되어 있다. 전장 제어 시스템에 사용된 부품은 표 1과 같다.

Table 1. Electrical Parts of JEROS

Device	Product Name	Manufacturer
Camera	DFK 31AU03	The Imaging Source
GPS	OEMV-1	Novatel
IMU	EBIMU-9DOF	E2BOX
Computer	Intel Core 2 Duo Board	COMMELL
Microprocessor	TMS320F2808	Texas Instrument
Thruster	Model 300	Tecnadyne

2.3 GNC 시스템

로봇의 GNC (Guidance, Navigation, Control) 시스템은 위치 인식 모듈, 영상 처리 모듈, 경로 계획(path planning) 모듈, 위치 및 속도 제어 모듈, 모니터링 모듈로 구성되며, 이는 SBC에서 모두 처리된다. 이 GNC 시스템의 전체 구성도는 그림 2와 같다.

위치 인식 모듈에서는 GPS와 IMU로부터 받은 정보를 사용하여 현재 로봇의 절대 위치와 방향을 추정하며, 영상 처리 모듈에서는 카메라 영상을 통해 해파리 군을 인식함으로써, 현재 로봇을 기준으로 해파리의 위치를 파악한다. 여기에 추가로 원격지 서버(server)로부터 받은 해파리 군에 대한 대략의 좌표 정보를 사용하여 해파리 제거를 위한 경로 계획이 이루어진다. 생성된 경로는 위치 및 속도 제어 모듈을 통해 추종되며, 최종 모터 제어는 마이크로프로세서에서 처리된다.

모니터링은 원격지의 서버에서 로봇의 상태를 파악하기 위한 것으로, 로봇에 탑재된 SBC와 원격지 사이의 무선 통신으로 구현된다. 이를 통해 현재 로봇의 위치와 속도, 경로 생성 및 추종 등 모든 상태를 모니터링 할 수 있으며, 상황에 따라 단순한 제어 명령이나 임의의 경로를 보내 수동 제어가 가능하다.

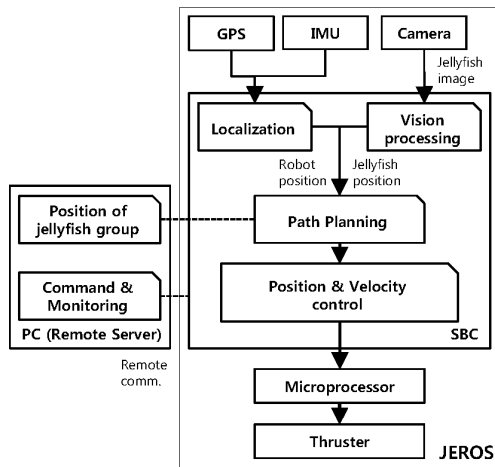


Fig. 2. Block diagram describing the overall architecture of the GNC system

2.4 내비게이션 시스템

내비게이션 시스템은 위치 인식 모듈 및 경로 계획 모듈, 위치 및 속도 제어 모듈로 구성되며, 그림 3과 같이 설계되었다. 이 시스템은 해파리의 위치가 영상 처리 또는 서버로부터 입력될 때, 위치 인식 모듈에서 추정한 현재 로봇

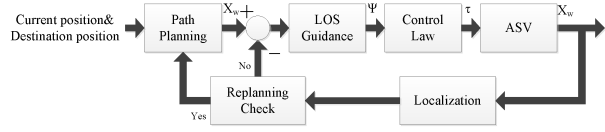


Fig. 3. Block diagram describing the architecture of navigation system

의 위치로부터 해파리를 제거할 수 있는 위치까지의 경로가 가상 경유점(virtual way-point)의 연속으로 생성되면서 시작된다. 해파리가 밀집된 곳에서는 청소로봇과 같은 로봇 시스템에서 많이 사용되는 커버리지 경로 계획(coverage path planning)^[8] 알고리즘으로 지그재그(zigzag) 형태의 경로를 생성한다. 생성된 경로는 Line-of-Sight (LoS) guidance 알고리즘^[9]을 이용해서 점근적으로 추종된다. LoS guidance 알고리즘에서는 가상의 경로를 추종하는 진행 방향을 생성한다. 이 때, 가상의 경로는 연속적인 가상 경유점들 사이를 잇는 경로가 된다. 앞의 알고리즘에서 생성된 방향과 속도로 진행할 수 있도록 위치 및 방향 제어 모듈에서 두 추력기의 출력 값을 계산한다. 생성된 경로를 추종하는 동안 해파리 수집 및 절단 장치에 의해서 해파리가 제거된다.

2.5 해파리 인식을 위한 영상처리

기존에 수중 생태 환경 연구를 위해 수중에서 비전 시스템을 사용하여 해파리를 추적하는 연구^[10]는 있었으나, 본 연구에서는 수상에서 해수면 근처의 해파리 위치 인식 및 추적을 위해 비전 시스템을 사용하였다. 이는 SBC와 여기에 연결된 한 대의 CMOS 카메라로 구성되며, 해수면 영상 획득 후 영상처리를 통해 해파리의 위치를 그림 4의 과정으로 판별한다. 전체적인 과정은 [6, 7]을 따르고 있으나, 해파리 인식을 향상을 위해 기 제안한 방법을 발전시켰다.

해파리 인식을 효과적으로 하기 위해서 해파리의 형태

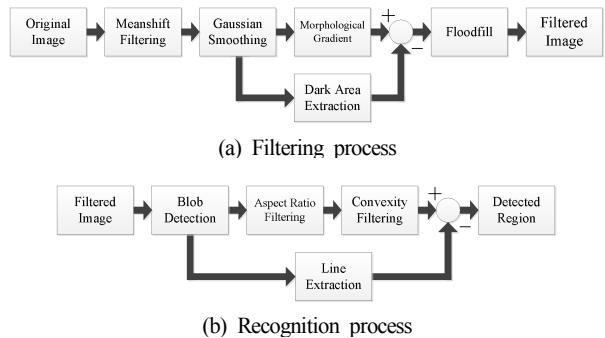


Fig. 4. Block diagram describing the image processing sequence for jellyfish detection

가 둥글고, 명암이 주변에 비해 밝다는 특징을 이용하였다. 영상처리과정은 크게 그림 4 (a)의 필터링 과정과, (b)의 해파리 인식 과정으로 구성된다. 먼저 (a)의 필터링 과정에서는, 원본 영상을 노이즈 제거를 위해 평균변화 필터 (meanshift filtering)^[11] 과정을 거친 후 이진화한다. 그 후 형태학적 기울기(morphological gradient) 연산을 적용하여 해파리 후보 영역의 외곽선을 검출한다. 그러나 해수면의 출렁임으로 인해 영상에서 원치 않은 어두운 영역들이 생기며, 이는 해파리 윤곽선 검출에 장애 요인으로 작용한다. 이를 해결하기 위해 해수면의 영향으로 인한 어두운 영역을 원본 영상에서 검출하여 침식 연산을 거친 후, 형태학적 기울기 연산을 거친 영상과의 차를 구한다. 이는 해수면의 출렁임으로 인한 영역들을 제거하는 효과를 보여준다. 이러한 전처리 과정의 결과 영상에서 남겨진 해파리 후보 영역에 플러드필(floodfill) 과정을 거쳐 최종 필터링된 결과 영상을 획득한다. 그림 4 (b)의 인식 과정에서는, 필터링된 영상에서 해파리 후보 영역을 블롭 검출(blob detection)을 통해 추출해 내고, 다음의 3가지 특징을 이용하여 해파리가 아닌 블롭을 제거한다. 첫째는 수면에서 보이는 해파리가 가로 또는 세로로 비정상적으로 길지 않은 점, 둘째는 해파리가 둥글고 불룩한 형태를 지닌 점, 마지막으로는 해파리 이외의 배 또는 밧줄 등의 물체들이 선형인 점이다. 위 알고리즘을 실제 해파리 영상에 적용해 보았으며, 그 상세과정은 그림 5와 같으며, 인식 결과는 그림 5 (f)와 같다.

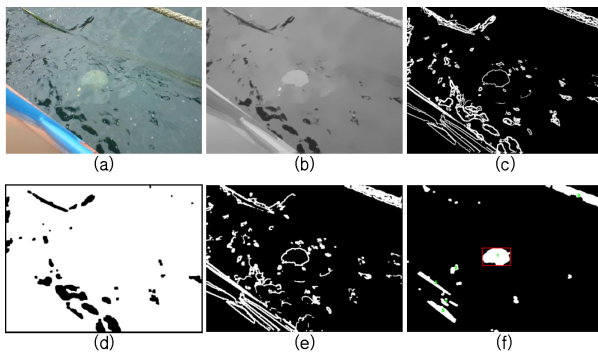


Fig. 5. Image processing of the real jellyfish image. (a) the original jellyfish image (b) the gray scale image after noise reduction filtering (c) the result of the morphological gradient operation (d) extracting the dark areas (e) the result of subtracting the dark areas from the original image (f) the result of blob labeling, classification, and jellyfish detection.

3. 실험 및 결과 분석

이 장에서는 JEROS의 실험 및 결과 분석에 대해 기술한다. JEROS는 2절에서 소개된 내용에 따라 크기 1.4m x 1.1m x 0.6m에 무게 약 50kg으로 제작되었다. 실험은 해상에서 촬영된 영상을 이용한 해파리 인식 실험과 내비게이션 성능 실험, 해파리 제거 성능 실험으로 진행되었다.

3.1 영상 기반 해파리 인식 실험

영상 기반 해파리 인식 실험은, 해상에서 촬영된 수면 근처의 보름달물해파리 영상을 이용한 후처리 방식으로 진행하였으며, 영상은 800 x 480 픽셀 크기 789 프레임의 동영상을 사용하였다.

실험의 통계적 결과는 표 2와 같다. 성능 평가 기준으로는 TPR (True Positive Ratio)과 FPR (False Positive Ratio)을 사용하였다. TPR 또는 재현율이라 불리는 평가는 인식이 잘 된 비율로 $TPR = TP/(TP+FN)$ 로 계산하였으며, FPR 평가는 인식이 잘못된 비율로 $FPR = FP/(FP+TN)$ 로 계산하였다. 여기서 TP (True Positive)와 FN (False Negative)은 각각 영상에 존재하는 해파리를 올바르게 인식하거나 인식하지 못한 경우를 말한다. FP (False Positive)와 TN (True Negative)은 각각 영상에 존재하지 않는 해파리를 존재한다고 잘못 인식하거나 인식하지 않은 경우를 말한다. 이때 TPR은 높을수록, FPR은 낮을수록 인식률이 좋은 것이다. 2.5의 알고리즘을 적용하여 그림 6과 같이 인식 실험을 진행하여, $TPR = 0.9900$ 과 $FPR = 0$ 의

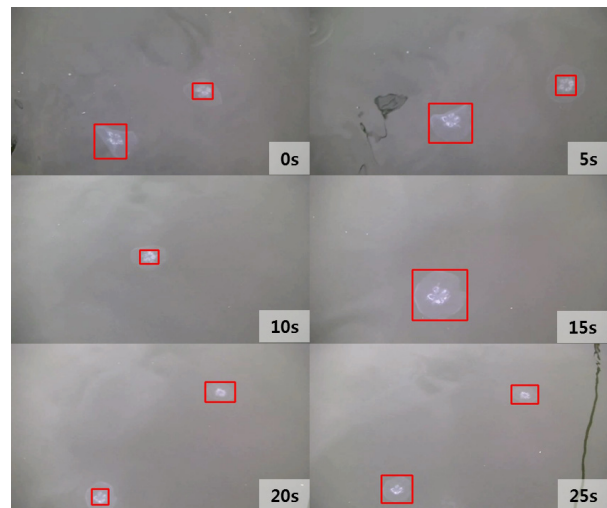


Fig. 6. Jellyfish detection results to the real jellyfish video. The red boxes indicate regions of detected jellyfish

Table 2. Results of Jellyfish Detection

Performance Evaluation Criteria	Jellyfish Detection Results
TP	1,282 times
FN	13 times
FP	0 time
TN	283 times
TPR	0.99
FPR	0.00

결과가 나왔다.

3.2 자율 내비게이션 성능 실험

자율 내비게이션 시스템의 성능을 시험하기 위해, 한국과학기술원(KAIST) 내의 인공 호수에서 JEROS를 이용한 실험을 진행하였다. 실험한 호수는 그림 7의 위성 영상과 같으며, 넓이는 약 1,200m²이고, 중간에 두 개의 분수대 장애물이 존재한다. 로봇이 추종해야 하는 경로는 두 개의 장애물 주변을 도는 8자 폐곡선 경로로, 임의의 가상 경유점의 연속으로 입력하였으며, 그림 7의 빨간색 실선과 같다. 주어진 경로는 JEROS에 내장된 GNC 시스템에 의해 자율적으로 추종되었으며, 그 결과는 그림 7의 파란색 단속선(dashed line)과 같다.

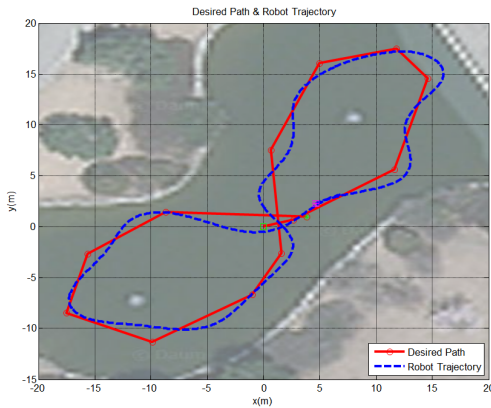


Fig. 7. Result of path following test at a pond in KAIST. The result shows the desired path (red solid line) and trajectory (blue dashed line) of the robot

3.3 해파리 제거 성능 실험

JEROS의 해파리 제거 성능을 시험하기 위해 경상남도 창원 마산만과 진동만 등의 실해역에서 2012년 6월에서 9월 사이에 5회 이상 실험을 진행하였다. 마산만과 진동만은 인공 방조제와 항만, 양식장이 많아, 해파리가 증식할 수

있는 환경이 조성되어 있고, 따뜻한 해수 탓에 여름철에 수많은 보름달물해파리 떼가 출몰한다. 실험은 해파리가 많은 지역에서 임의로 입력한 경로를 따라 움직이며 그림 8과 같이 해파리 제거 실험을 하였다. 해파리 제거 실험은 해파리가 수면으로 많이 올라오는 오후 시간대에 진행하여, 평균 0.5m/s의 속도로 운항하면서, 분당 약 25마리의 제거 성능을 확인하였다. 이 때, 해파리의 평균 무게를 0.1kg이라 가정했을 때^[12], 시간당 150kg의 제거가 가능할 것으로 추정된다.

4. 결론

본 논문에서는 최근 그 수가 매우 크게 증가하여 전 세계적으로 문제가 되고 있는 해파리를 퇴치할 수 있는 무인 수상선 기반의 로봇을 설계·제작하고, 실험을 통해 해파리 인식 및 제거 기술의 가능성을 검증하였다. 영상 기반의 해파리 인식 기술로는 99%에 가까운 인식 성능을 확인하였고, 자율 내비게이션 알고리즘으로는 가상 경유점 기반의 임의 경로 추종을 통해 성능을 확인하였다. 실해역에서의 5회가 넘는 실험을 통해서 해파리 제거 성능을 확인하였다. 향후에는 보다 많은 해파리 영상을 통한 해파리 인식 알고리즘 실험 및 해파리 동특성을 반영한 인식 알고리즘 보완과 해파리 제거의 효율성을 높이기 위한 경로 생성의 최적화에 대한 연구를 계속할 예정이다. 또한 제거 성능은 해파리 수집부의 크기와 로봇의 추진 속도에 비례하므로, 향후에는 이를 개선하여 더 향상된 제거 성능이 달성되도록 할 것이다. 그리고 주변 환경 인식 및 장애물 회피를 위한 센서를 추가하여, 여러 대의 로봇이 편대로 해파리를 제거할 수 있도록 군집 로봇 시스템으로 확장할 것이다.

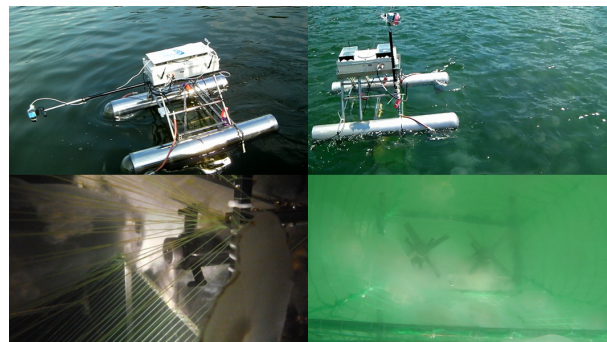


Fig. 8. JEROS performing tasks for jellyfish removal in the sea

참고문헌

[1] National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI), "Report of planning research on prevention of damage caused by harmful oceanic organisms jellyfish", 2009 (in Korean).

[2] National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI), "Trends of Overseas Fisheries", vol. 2, pp. 24-28, Nov. 2005 (in Korean).

[3] I-O. Kim, H-C. An, J-K. Shin and B-J. Cha, "The development of basic structure of jellyfish separator system for a trawl net", J. Kor. Soc. Fish. Tech. Vol. 44, No. 2, pp. 99-111, 2008 (in Korean with English abstract).

[4] C-D. Park, K-H. Lee, and S-H. Kim, Y. Fujimori, "Performance of a conical jellyfish exclusion device installed in a trawl net", Fisheries Science, Vol. 78, No. 1, pp. 23-32.

[5] F. Matsuura, N. Fujisawa, and S. Ishikawa, "Detection and Removal of Jellyfish Using Underwater Image Analysis", J. Visualization, Vol. 10, No. 3, pp. 259-260, 2007.

[6] D-H. Kim, J-U. Shin, H-J. Kim, D-H. Lee, S-M. Lee, and H. Myung, "Design and Implementation of Autonomous Surface Vehicle JEROS for Jellyfish Removal", 7th Korea Robotics Society Annual Conference, Jun. 2012 (in Korean with English abstract).

[7] D-H. Kim, J-U. Shin, H-J. Kim, D-H. Lee, S-M. Lee, and H. Myung, "JEROS: Jellyfish Removal Robot System", 8th International Conference on Humanized System (ICHS), Daejeon, Korea, Aug. 16-18, 2012.

[8] H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki and S. Thrun, "Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations", MIT Press, Boston, 2005.

[9] T. I. Fossen, "Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships", Rigs and Underwater Vehicles, Marine Cybernetics, 2002.

[10] Rife, J., Rock, S. M. (2003) "Segmentation methods for visual tracking of deep ocean

jellyfish using a conventional camera", IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol.28, no.4, pp. 595- 608, Oct. 2003.

[11] D. Comaniciu, P. Meer, "Mean Shift: A Robust Approach toward Feature Space Analysis", IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intell., Vol. 24, No. 5, 603-619, 2002 .

[12] Y-S. Kang and M-S. Park, "Occurrence and Food Ingestion of the Moon Jellyfish (Scyphozoa: Ulmariidae: *Aurelia aurita*) in the Southern Coast of Korea in Summer ", Journal of the Korea Society of Oceanography, vol. 8, no. 2, pp. 199-202, May 2003 (in Korean with English abstract).



김 동 훈

2009 서울시립대학교 전자전
기컴퓨터공학부
2011 KAIST 로봇공학학제전
공 석사
2011~현재 KAIST 로봇공학학
제전공 박사과정

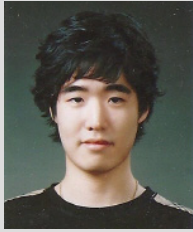
관심분야 : 수상 / 수중 로봇, 로봇 비전



신 재 욱

2010 한국기술교육대학교 메
카트로닉스공학부
2011~현재 KAIST 로봇공학학
제전공 석사과정

관심분야 : 로봇 설계 및 제어



김형진

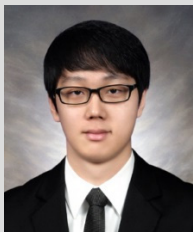
2012 경희대학교 전자공학부
2012~현재 KAIST 건설 및 환
경공학과 석사과정
관심분야: 로봇 네비게이션



이승목

2006 중앙대학교 물리학과
2008 과학기술연합대학원대
학교 위성시스템 및 활용
공학 석사
2009~현재 KAIST 건설 및 환
경공학과 (로봇공학학제
전공) 박사과정

관심분야: 로봇 네비게이션, 군집 로봇



김한근

2009 경희대학교 전자전파공
학과
2011 경희대학교 전자전파공
학과 석사
2011~현재 KAIST 건설 및 환
경공학과 박사과정

관심분야: 이동 로봇 네비게이션, AI, HRI



명현

1992 KAIST 전기 및 전자공학
학사
1994 KAIST 전기 및 전자공학
석사
1998 KAIST 전기 및 전자공학
박사

1998~2002 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
2002~2003 (주) 이머시스 연구소장/기술이사
2003~2008 삼성전자종합기술원 전문연구원
2008~현재 KAIST 건설 및 환경 공학과 교수
관심분야: 로봇 네비게이션, 건설 로봇, 수중/수상
로봇, 소프트웨어컴퓨팅

E-mail : hmyung@kaist.ac.kr



이동화

2005 경북대학교 전자전기공
학부
2005~2008 (주) 비앤디 선임연
구원
2010 경북대학교 전자전기컴
퓨터학부 석사

2010~현재 KAIST 건설 및 환경공학과 박사과정
관심분야: 로봇 네비게이션, 수중 로봇, 수중 음향신
호처리