

유압로봇 구동을 위한 비주얼 가이드 시스템 Visual Guidance System for Disaster Hydraulic Robot

신동인^{1*} · 신설¹ · 김동엽¹ · 김승훈¹ · 황정훈¹ · 김영욱¹
Dong-In Shin, Seol Shin, Dong Yeop Kim, Seun-hoon Kim
Jung-Hoon Hwang and Young-Ouk Kim

1. 서 론

재난 재해환경에서 초동 대응이 필수적이지만, 소방대원이나 구조요원의 인력만으로 재난환경에 적절한 대응하기에 한계가 있다. 또한, 재난 환경에는 다양한 위험 요소가 존재하기 때문에 구조 활동에 있어 2차 피해의 가능성이 높다. 따라서 원격지에서 사람이 로봇을 조종하여, 재난환경을 대응할 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있다.¹⁻³⁾

특히, 조종자가 원격 조종을 원활히 수행하기 위해서는 재난 환경 영상을 최대한 현장에 있는 듯한 영상으로 표현하여 몰입감을 높여야 한다. 더불어, 로봇 제어를 위해 필요한 추가적인 정보를 시각적으로 표현함으로써, 조작에 도움을 줄 수 있는 비주얼 가이드 정보 제공해야 한다.

원격지에 있는 재난 환경을 가시화하기 위하여, 카메라와 거리(depth) 센서가 사용된다. 단일 카메라 센서를 사용할 경우, 로봇에 장착된 카메라 위치에서 주변 환경을 직접 2D 영상을 보여준다. 하지만 단일 센서의 화각의 한계로 인해, 전체적인 재난 환경을

조종자가 파악하기 어려운 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여, 여러 카메라를 사용하여 다중 영상을 합성하여 조종자가 쉽게 주변 환경을 관찰할 수 있는 연구가 진행되고 있다.⁴⁻⁵⁾ 예를 들어, WAVM(Wrap Around View Monitoring)의 경우 4 개의 카메라를 이용하여, 로봇 주변의 환경을 다시점으로 실시간으로 생성할 수 있다.¹¹⁻¹³⁾

카메라를 이용하여, 실시간으로 로봇 주변 환경을 2D 영상으로 구성할 수 있지만, 3차원 거리를 취득하기 어렵기 때문에 재난 환경에서 다양한 작업을 수행하기에 부족하다.

최근 키넥트 센서와 같이 초당 30프레임 속도로 3차원 거리 영상을 측정할 수 있는 센서가 개발되고 있으며, GPU(Graphic Processing Unit)의 계산 능력이 크게 증가하여 실시간으로 3차원 영상 재구성(3D reconstruction)을 수행하는 것이 가능해졌다.⁶⁻⁷⁾ 따라서, 기존 2D 카메라 영상뿐만 아니라 3차원 영상을 통하여 재난 환경을 시각화할 뿐만 아니라 3차원 정보를 이용하여 로봇 조작에 필요한 시각 정보를 가시화(visualization)할 수 있다.

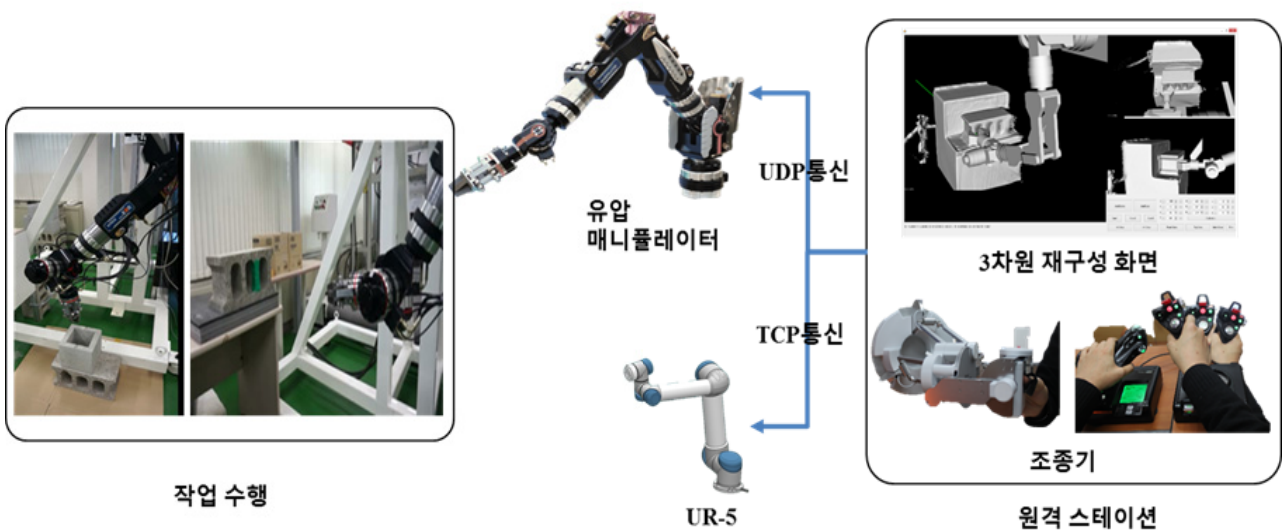


Fig. 1 Configuration of visual guidance system

본 논문에서는 키넥트 센서를 이용하여, 로봇 주변 환경에 대해 3차원 정보를 취득한다. 그리고 다시점(multi-view)으로 취득된 3차원 거리 데이터를 누적하여 조밀한(dense) 3차원 영상을 재구성한다.

조작자가 다양한 작업을 수행함에 있어 필요한 비주얼 가이드 시스템 기술들을 제안한다. 원격지에 있는 조작자는 현장에 있는 로봇 매니퓰레이터의 움직임을 관찰하기 어렵다. 따라서 3차원 로봇 모델과 각 조인트의 엔코더 값을 이용하여 실시간으로 3차원 재구성된 영상에 매니퓰레이터 3D 모델을 중첩시켜 움직임을 표현한다.

이와 더불어 조종기 워크스페이스를 연동하여 매니퓰레이터의 작업 범위를 인지할 수 있도록 워크스페이스 가시화와 작업 대상물체 가시화를 통해 작업의 효율을 증대시킨다. 마지막으로 가상벽을 이용하여, 햅틱 피드백을 통한 작업 범위 제한하는 가이드 시스템 기술을 제안한다.

2. 비주얼 가이드 시스템 구성

비주얼 가이드 시스템의 구성은 Fig. 1과 같으며 크게 3가지로 구성되어 있다. 첫 번째는 유압 매니퓰레이터이다. 조작자는 이 매니퓰레이터를 움직여 재난 환경 상황에서 물건을 잡거나, 벽을 부수거나 하는 다양한 작업을 수행할 수 있다.

두 번째 시스템 구성 요소는 키넥트 센서와 UR-5이다. 키넥트 센서는 UR-5의 말단점 위에 장착되어 있다. 조작자의 신호에 의해 UR-5는 대상 물체와 주변 영역을 스캐닝하며, UR-5에 장착된 키넥트 센서로 3차원 데이터를 취득할 수 있다. 취득된 데이터는 3차원 환경 재구성 기법을 이용하여 조밀한 3차원 영상을 생성하여, 원격 스테이션에서 조작자에게 화면을 보여준다.

세 번째 시스템 구성 요소는 원격 스테이션이다. 원격 스테이션은 유압 로봇 매니퓰레이터와 UR-5와 물리적으로 분리되어 있으며, 조작자는 원격지의 실제 환경을 모니터 화면을 통해 볼 수 있다. 그리고 조작자는 Sigma-7 햅틱 조종기와 조이스틱을 이용하여 다양한 작업을 수행할 수 있다. 조작자는 Sigma-7을 조작하여 유압 매니퓰레이터를 움직이며, 조이스틱을 이용하여 UR-5를 조종하거나 3차원 재구성된 화면의 시점, 작업 대상물 설정 등을 수행할 수 있다.

3. 3차원 환경 재구성

로봇 주변 환경을 다시점으로 3차원 재구성하기 위해서, 키넥트에서 취득되는 다수의 거리 영상을 정합하는 과정이 필요하다. 이를 위해서는 거리 영상을 이용하여, 키넥트 센서의 위치와 오리엔테이션을 추정하고, 추정된 센서의 위치를 이용하여 다시 거리 영상을 정합해야 한다.^{6,7)}



Fig. 2 Result of 3D reconstruction

거리 센서를 이용하여 대상 물체와 로봇 주변 환경에 대해 거리 영상을 취득하게 되면, 거리센서의 화각과 유효 거리 그리고 다수의 물체로 인해 거리 센서로 측정할 수 없는 영역이 발생하게 된다. 따라서 유효한 거리 데이터를 이용하여 이전에 취득된 거리 데이터로 만들어진 3차원 볼륨 데이터와 정합 과정을 수행해야 한다.

키넥트 센서에서 취득되는 점군 데이터를 모델 점군 데이터라고 하고, 3차원 재구성으로 수행된 3차원 볼륨 데이터에서 얻어진 타겟 점군 데이터라고 할 때, 대상 점군 데이터와 타겟 점군 데이터와의 차이가 최소가 되도록 하는 회전 행렬 R 과 이동 행렬 t 를 구한다. 이를 위하여, ICP (Iterative Closest Point) 기법이 사용된다.^{8,9)}

ICP 기법으로 구해진 변환 행렬을 이용하여, 모델 점군 데이터를 3차원 볼륨 데이터에 TSDF (Truncated Signed Distance Function) 값으로 저장된다.

여러 방향으로 취득된 거리 데이터를 이용하여 갱신된 3차원 볼륨은 raycasting을 통해서 3차원 표면 정보를 취득하게 된다. 이렇게 취득된 3차원 정보를 원격 스테이션에 있는 조작자에 제공하고 조작자는 이 정보를 이용하여 다양한 작업을 수행할 수 있다. Fig. 2는 3차원 재구성한 결과 영상이다.

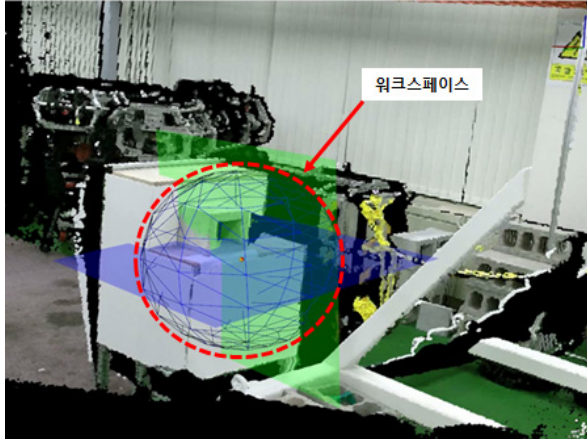


Fig. 3 Visualization of workspace

4. 비주얼 가이드선스

키넥트 카메라를 이용하여 수행되는 3차원 재구성 데이터는 키넥트 카메라 자세(pose) 기준으로 거리가 표현되기 때문에, 로봇 기준 좌표로 변환이 필요하다.

$P = [p_1, p_2, \dots, p_n]$ 를 키넥트 카메라 기준 좌표로 3차원 구성된 영상의 대응점(corresponding point)이라고 정의하고, $Q = [q_1, q_2, \dots, q_n]$ 는 로봇 기준 좌표에서의 대응점이라고 정의한다. 그러면 P 와 Q 의 관계는 회전 변환(rotation) R 과 이동 변환(translation) t 를 이용하여, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Q = R * P + t \quad (1)$$

다음의 식과 같이 에러가 최소화되는 최적의 R 과 t 를 구할 수 있다.

$$(R, t) = \operatorname{argmin} \sum_{i=1}^n w_i \| (R * p_i + t) - q_i \|^2 \quad (2)$$

식 (2)는 특이값 분해(Singular Value Decomposition) 기법을 이용하여, 최적의 R 과 t 를 구할 수 있다¹⁰⁾. R 과 t 를 이용하여, 3차원 재구성 데이터를 로봇 좌표계 기준으로 변환하여 표현할 수 있다.

로봇 기준 좌표계로 변환된 3차원 영상 정보를 이용하여 본 논문은 워크스페이스(workspace), 대상물체 설정 및 가상벽을 가시화한다.

일반적으로 조종기의 워크스페이스가 로봇 매니퓰레이터의 워크스페이스보다 작다. 따라서 로봇 매니퓰레이터를 조작하기 위하여, 조종기의 물리적 위치 값에 스케일을 적용하여 유압 매니퓰레이터를 이동

하거나 조작할 수 있다. 하지만 조종기의 조작 범위를 사람이 쉽게 인지하기 어렵기 때문에 본 논문은 조종기를 이용하여 매니퓰레이터를 조작할 수 있는 범위를 3차원 재구성 영상에 표현함으로써 조작자가 직관적으로 인지할 수 있게 한다.

두 번째로 로봇 매니퓰레이터와 대상물체와의 거리나 위치 관계를 이용하여 조작자에게 가이드선스를 제공할 수 있다. 우선, 대상 물체를 설정하기 위하여, 본 논문에서는 Fig. 1과 같이 조이스틱을 이용한다. 조이스틱의 위치와 버튼을 이용하여 사용자가 화면상에 있는 물체를 선택할 수 있으며, 선택된 대상 물체의 색상을 변경하여 작업의 집중력을 높일 수 있다. Fig. 4는 선택된 대상 물체를 가시화한 결과이다.

선택된 대상 물체의 파지점과 로봇 매니퓰레이터의 말단점의 위치를 가상의 선으로 표시함으로써 조작자는 로봇 매니퓰레이터를 작업 대상물에 정렬하여 물체를 파지하는데 도움을 받을 수 있다.

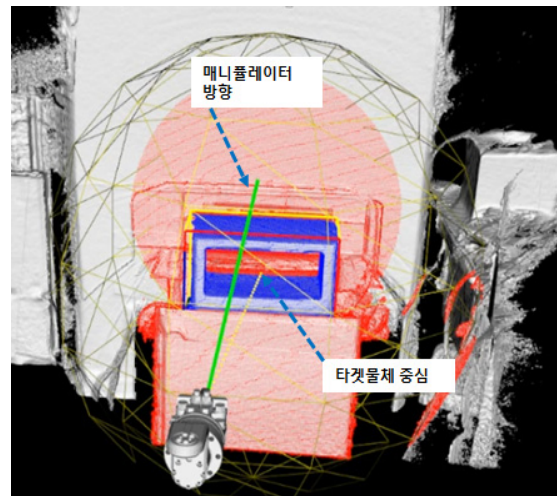


Fig. 4 visualization of target object and guideline

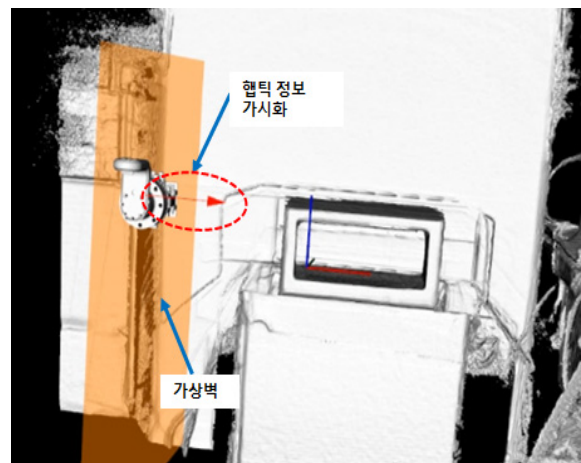


Fig. 5 Virtual wall

마지막으로 본 논문에서는 Fig. 5와 같이 가상벽을 이용하여 로봇 매니플레이터를 조종하는 것을 제안한다. 유압 매니플레이터의 경우 유압의 힘으로 인해 고중량의 물체를 움직이는 것과 같이 강한 힘이 필요한 작업을 수행할 수 있다. 하지만 이러한 유압 매니플레이터의 강한 힘으로 인해 조작자는 대상 물체가 아닌 물체들의 파손과 같이 의도치 않은 결과가 발생할 수 있는 부담감을 가지고 있다. 이를 위하여 본 논문은 가상벽을 이용하여 로봇 매니플레이터의 조작 범위를 제한한다. 또한 가상벽과 로봇 매니플레이터의 거리를 측정하여 햅틱 조종기에 햅틱 피드백



Fig. 6 Experiment environment

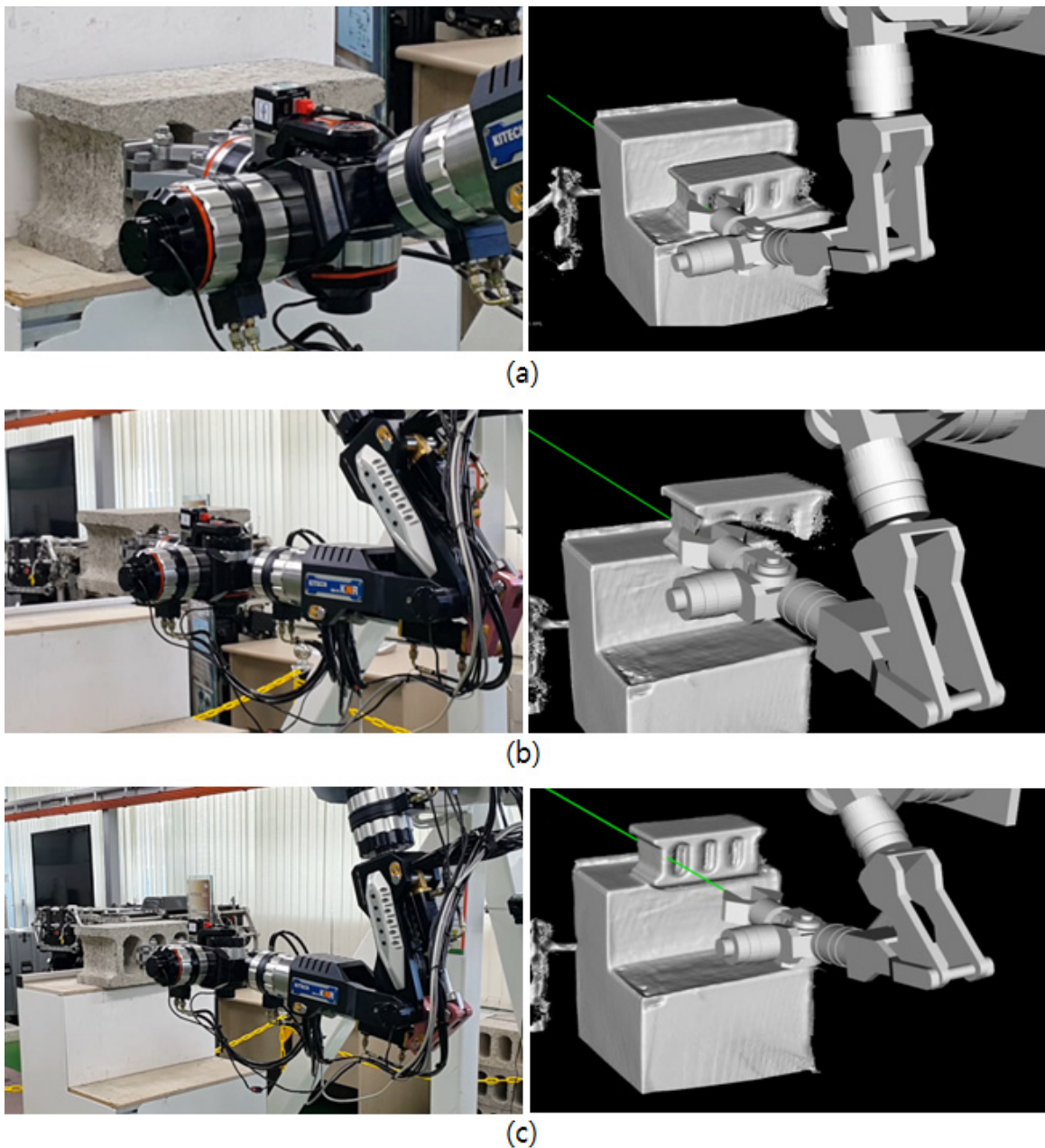


Fig. 7 Experiment results (a) gripping the target object (b) moving to second floor (c) placing the object on the second floor

을 전달함으로써 조작자가 직관적으로 작업 영역의 범위를 느낄 수 있다.

5. 실험 및 결과

본 논문은 원격에서 유압 매니퓰레이터를 이용하여 작업을 수행하기 위기 위하여, Fig 6과 같이 실험 환경을 구축하였다. 로봇 매니퓰레이터 전방에는 2층으로 구성된 테이블이 놓여 있으며, 테이블 위에는 대상 물체인 벽돌을 놓여 있다.

원격지에 있는 조작자는 UR-5를 이용하여 대상 물체와 주변 환경을 키넥트 센서로 3차원 데이터를 취득한다. 그러면 3장에 기술된 3차원 환경 재구성 기법을 이용하여 3차원 영상을 모니터로 볼 수 있다.

유압 매니퓰레이터에 장착된 엔코더를 이용하여 각 관절의 각도를 실시간으로 원격스테이션에 전달되며, 각 관절의 각도를 이용하여 3차원 재구성 화면에 로봇 모델이 중첩되어 가시화 된다.

조작자는 3차원 재구성된 영상과 로봇 매니퓰레이터의 3차원 모델의 움직임을 통하여, 1층에 놓여 있는 벽돌을 2층으로 옮기는 작업을 수행하였다. Fig 7은 실험을 수행하면서 각 과정에 대한 결과 영상이다. Fig 7 (a)는 유압 매니퓰레이터로 벽돌의 좌측 모서리를 잡는 영상이다. 이를 위하여 조작자는 매니퓰레이터와 대상 물체와의 위치정보 기반 가이드라인을 이용하여 정렬을 할 수 있다. 또한 조이스틱을 이용하여 다양한 시점, 즉 위에서 보는 시점과 측면에서 보는 시점을 이용하여 매니퓰레이터와 물체간의 높이와 깊이 방향으로 정렬을 용이하게 할 수 있다.

Fig 7 (b)는 벽돌을 잡은 후에 2층 계단으로 벽돌을 옮기는 영상이다. 여러 방향에서 3차원 영상을 취득하여 재구성하였기 때문에 다양한 방향의 시점 변환을 통하여, 2층 계단의 위치를 파악할 수 있다. 마지막으로 Fig 7 (c)는 대상 물체인 벽돌을 2층에 놓고 매니퓰레이터를 다시 원래 자세로 복귀하는 결과 영상이다.

6. 결론 및 향후 계획

본 논문은 재난 환경과 같은 사람이 직접 현장에서 수행하기 어려운 상황에서, 로봇을 이용하여 특정 작업을 수행할 수 있는 가이드스 시스템을 제안하였다.

로봇이 작업해야 하는 환경을 원격지에 전송하기

위하여, 키넥트 센서를 이용하여 3차원 데이터를 취득하여 3차원 재구성을 수행하였다. 그리고 3차원 영상 정보와 매니퓰레이터의 위치를 이용하여 작업에 도움을 줄 수 있는 가이드스를 제안하였다.

실험을 통하여 3차원 재구성 화면을 이용하여 특정 임무를 수행할 수 있음을 통하여, 가이드스 시스템을 통하여 조작자가 원격 제어를 할 수 있음을 확인하였다.

향후, 붕괴된 물체 더미를 치우는 것과 위험물을 제거하는 등의 고난이도 작업을 수행함에 있어 제안하는 가이드스 시스템을 정량적으로 평가할 예정이며, 특정 작업에 필요한 가이드스 기술을 개발할 예정이다.

후 기

이 연구는 산업통상자원부의 재원으로 산업융합원천기술개발사업의 지원을 받아 수행되었음. (10047636, 고난이도 작업 수행을 위한 관절 각속도 160deg/s 이상, 반복오차 0.3deg 이하의 힘 제어 기반 유압 구동 로봇 제어 기술 개발 의하여 수행되었음을 밝힙니다.

References

- 1) H. Kinoshita, R. Tayama, E. Y. Kometani, T. Asano, and Y. Kani, "Development of new technology for Fukushima Daiichi nuclear power station reconstruction," Hitachi Review, vol. 63, no. 4, pp. 183-190, 2014.
- 2) E. Stickland, "Fukushima's next 40 years," IEEE Spectrum, vol. 51, no. 3, pp. 46-53, 2014.
- 3) A. Rastogi and P. Milgram and D. Drascic, "Teleroptic Control with Stereoscopic Augmented Reality", SPIE Vol. 2653: Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III, pp155-122
- 4) Y.C.Liu, K.Y. Lin and Y.S. Chen, "Bird's-Eye View Vision System for Vehicle Surrounding Monitoring", Proc., the 2nd international conference on Robot vision, LNCS, Springer pp.207-218
- 5) S. Shimizu, J. Kawai, H. Yamada, "Wraparound View System for Motor Vehicles", FUJITSU Sci. Tech. J., Vol.46, No.1, pp.95-102 (January 2010)
- 6) R. A. Newcombe, S. Izadi, O. Hilliges, D.

- Molyneaux, D. Molyneaux, D. Kim, A. J. Davison, P. Kohli, J. Shotton, S. Hodges, and A. Fitzgibbon, "KinectFusion:Real-Time Dense Surface Mapping and Tracking, in IEEE ISMAR, IEEE, October 2011.
- 7) N. Schwabsky and V. Cohen, "Real-time 3D Surface Reconstruction Out of Depth Images", OpenFusion, Project Report.
 - 8) Zhang, Zhengyou. "Iterative point matching for registration of free-form curves and surfaces." International journal of computer vision 13.2 (1994): 119-152.
 - 9) Godin, Guy, Marc Rioux, and Rejean Baribeau. "Three-dimensional registration using range and intensity information." Photonics for Industrial Applications. International Society for Optics and Photonics, 1994.
 - 10) O. Sorkine, "Least-Squares Rigid Motion Using SVD"
 - 11) J. Woo and N. Kim, "Vision-based obstacle collision risk estimation of an unmanned surface vehicle," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (2015), vol. 21, no. 12, pp. 1089-1099, Dec. 2015.
 - 12) B. Keyes, R. Casey, H. A. Yanco, B. A. Maxwell, and Y. Georgiev, "Camera placement and multi-camera fusion for remote robot operation," Proc. of the IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, pp. 22-24, 2006.
 - 13) S. H. Kim and W. S. Jung, "Convergence of AVI image and OBD information for analysis of car accident," Proc. of Korean Society for Precision Engineering 2015 Spring Conference, vol. 15, no. 3, pp. 358-359, 2015.

[저자 소개]



신동인
 E-mail : di_shin@keti.re.kr
 Tel : 032-621-2890
 2009년 경희대학교 전자공학과 졸업
 2012년 경희대학교 대학원 석사
 2012년~2015년 현대자동차. 2010년~현재 전자부품연구원 전임연구원. 관심분야는

Image Enhancement, Advanced Driver Assistance System, 3D Reconstruction, Deep Learning.

[저자 소개]



신 설
 E-mail : gpu8288@keti.re.kr
 Tel : 032-323-2841
 2006년 일본 국립사이타마대학 정보시스템공학과 졸업
 2012년 일본 동경대학교 대학원 석사
 2016년~현재 전자부품연구원 연구원.

관심분야는 Human Robot Interaction, Sensing Visualization, Stere Vision, 3D Reconstruction.



김동엽
 E-mail : sword32@keti.re.kr
 Tel : 032-621-2814
 2008년 연세대학교 전자전자공학부 졸업
 2010년 연세대학교 대학원 석사
 2010년~현재 전자부품연구원 선임연구

원 관심분야는 지능시스템, SLAM, Sensor Fusion, 3D Reconstruction, Machine Learning, Virtual Reality.



김승훈
 E-mail : ksh1018@keti.re.kr
 Tel : 032-621-2865
 2002년 한양대학교 전자컴퓨터공학과 졸업
 2007년 연세대학교 전기전자공학과 석사
 2007년~2008년 현대중공업. 2009년~현재 전자부품연구원 선임연구원. 관심분

야는 Mobile Robot, Robot Vision.



황정훈
 E-mail : hwangjh@keti.re.kr
 Tel : 032-621-2861
 1997년 연세대학교 기계공학부 졸업
 1999년 KAIST 대학원 석사
 1999년 KAIST 대학원 박사
 2007년~현재 전자부품연구원 선임연구

원/책임연구원. 관심분야는 Human-Robot Interaction, Surgical Robots, 3D Reconstruction, Series Elastic Actuator, Deep Learning.



김영욱
 E-mail : kimyo@keti.re.kr
 Tel : 032-621-2847
 1995년 홍익대학교 전자공학과 졸업
 1997년 홍익대학교 석사
 2009년 중앙대학교 박사
 1997년~현재 전자부품연구원 전임연구

원/선임연구원/책임연구원/수석연구원. 관심분야는 컴퓨터 비전, SLAM, 3D Reconstruction, Visualization.