

# 원격작업을 위한 3차원 입체시각 시스템 개발

## Development of a 3D Visual System for Tele-operations

\*박재한<sup>1</sup>, 신용득<sup>2</sup>, 박경욱<sup>3</sup>, 전현욱<sup>4</sup>, 백승호<sup>5</sup>, #백문홍<sup>6</sup>

\* J. H. Park<sup>1</sup>, Y. D. Shin<sup>2</sup>, K. W. Park<sup>3</sup>, H. W. Jeon<sup>4</sup>, S. H. Baeg<sup>5</sup>, #M. H. Baeg (mhbaeg@kitech.re.kr)<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>한국생산기술연구원 로봇기술연구부

Key words : 3D range sensor, LRF, Tele-operation

### 1. 서론

청소 및 경비, 가사지원 도우미, 교육 및 엔터테인먼트와 같은 다양한 분야에서의 개인서비스 로봇에 대한 연구가 최근 활발하게 진행되고 있다. 이와 더불어 로봇의 도입을 절대적으로 필요로 하는 또 다른 영역으로 전문서비스 로봇의 분야가 있는데, 전문서비스 로봇이란 위험하거나 극한 환경에서 전문화된 특수 작업을 수행하는 로봇을 말한다<sup>[1]</sup>. 대부분 전문서비스 로봇의 작업환경은 정형화되지 않은 복잡한 환경으로서, 그 특성상 로봇 스스로에 의한 자율작업은 매우 어려운 것이 현실이다. 따라서 전문서비스 로봇에 의한 작업에 대해서는 현재로서는 인간이 개입된 원격작업의 형태가 바람직한 것으로 알려져 있다.

전문서비스 로봇의 원격작업에 있어서 중요한 요소 중 하나는 작업자가 원격의 작업환경을 잘 이해하고 파악하는 것으로서 작업자는 주로 시각, 청각, 촉각과 같은 감각을 통하여 환경을 인지하게 된다<sup>[2]</sup>. 이 중에서도 시각은 인간이 환경을 이해함에 있어 중요한 감각기능이며 특히 좌우 양안을 이용하여 인지한 공간정보는 인간의 작업에 매우 중요한 정보가 된다.

본 논문에서는 원격작업을 위한 3차원 입체시각 시스템의 개발에 관한 연구내용을 제시하고 있다. 본 연구에서는 2-DOF 능동 스테레오 카메라 및 3차원 공간 스캐너와 같은 센서 시스템과 스테레오 HMD(Head Mount Display), 모션센서 등을 함께 운용함으로써 작업자가 원격의 작업환경을 입체적으로 인지할 수 있도록 시도하였다. 개발된 프로토타입 시스템은 실험환경에서의 시험을 통하여 그 유용성을 확인하였으며, 또한 이는 앞으로 다양한 전문서비스 로봇의 원격작업에 적절하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 2. 3차원 공간 센서시스템

인간의 환경인지 과정에서 시각 정보에 대한 의존도가 매우 높기 때문에 원격조작에서 시각정보 시스템은 필수적인 요소가 되고 있다. Fig. 1은 로봇에 의한 원격작업 시스템의 전반적인 구성을 보여주고 있다. 원격지의 로봇에는 작업자에게 환경에 관한 정보를 알려주기 위하여 시각, 청각, 촉각 등의 다양한 센서를 장착하게 되며 원격의 작업자는 시각, 청각 디스플레이 장치 및 촉각(Haptic) 재연장치 등에 의해 환경을 파악하고 계획을 수립하여 제어명령을 내리는 형태로 구성된다.

본 연구는 작업자가 원격에서 작업환경을 잘 이해하고 파악할 수 있도록 지원하는 입체시각 시스템의 개발을 목표로 하고 있다. 원격작업에 대한 몇 가지 시험을 통하여 시각정보 자체보다는 양안의 시각정보로부터 인지된 환경에 대한 공간정보가 작업자의 환경인지에 더욱 중요한 정보임을 확인하였다.

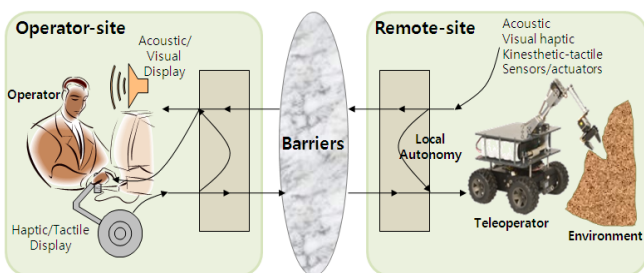


Fig. 1 Overview of a telerobotic system<sup>[2]</sup>

공간정보를 얻을 수 있는 방법으로 본 연구에서는 2차원 LRF(Laser Range Finder)를 회전하여 스캔함으로써 3차원 공간정보를 얻을 수 있는 3차원 센서시스템을 개발하였다<sup>[3]</sup>. 3차원 센서시스템에 적용된 2D LRF는 독일 Sick社의 S3000 모델이며 이를 초음파모터에 의해 회전시킴으로써 정밀하게 3차원 공간정보를 취득할 수 있다. Fig. 2는 개발된 3차원 센서시스템 프로토타입의 실제 모습이며 이에 대한 주요 성능사양은 Table 1에 나타내었다.

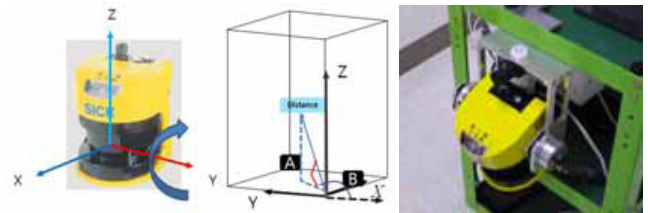


Fig. 2 Prototype model of 3D sensor system

Table 1 Performance index of 3D sensor system

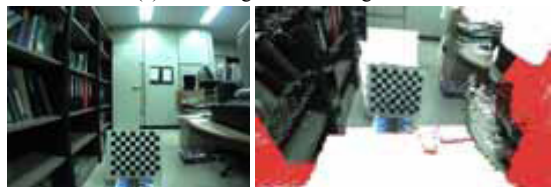
Index	3D sensor system
FOV(Field of View)	- 180°×120° (horizontal × vertical)
Scan Resolution	- 0.25°×0.25° (horizontal × vertical)
Scan Time	- 10[sec] (@ high resolution) - 4.5[sec] (@ low resolution)
Texture mapping	- real-time matching of 3D range and 2D image data (camera: 1024 ×768 / IEEE1394)

공간정보가 중요한 정보이긴 하지만 공간정보만으로 작업자가 환경을 이해하기에는 불충분하다. 인간은 시각정보와 융합된 공간정보를 통해서 환경을 인지한다. 원격작업을 위한 입체시각 시스템에서도 시각정보와 공간정보를 융합한 정보를 제공함으로써 작업자가 환경을 잘 이해할 수 있도록 도와야 한다.

따라서 본 연구에서는 3차원 센서에 카메라를 장착하여 카메라에 의한 2D 영상정보와 3차원 센서에 의한 3D 공간정보를 융합함으로써 3차원 입체영상을 얻을 수 있도록 센서 시스템을 구성하였다. Fig. 3은 3차원 센서시스템에 의해 취득한 정보를 보여주고 있다. (a)는 실제 환경과 스캔된 3D 공간정보를 나타내고 있으며 (b)는 카메라 영상과 융합된 입체영상을 나타낸다.



(a) Real image and 3D range data



(b) Camera image and 2D/3D fusion data

Fig. 3 Scanning image of 3D sensor system

3차원 센서시스템을 이용하여 정확한 3D 공간정보를 획득하고 이를 카메라 영상과 융합하기 위하여 3가지의 캘리브레이션 과정이 요구된다. 첫 번째는 2D LRF를 회전하여 3D 공간정보를 취득하는 과정에서 발생하는 기구적 구조에 대한 캘리브레이션인데 이는 스캐닝 메커니즘의 정교한 기구학 해석을 통하여 보정할 수 있다. Fig. 4는 3차원 스캔을 통해 취득한 원시정보와 기구적 캘리브레이션에 의해 보정된 공간정보를 나타낸다.

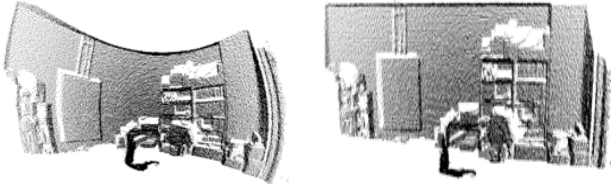


Fig. 4 Structural calibration of 3D sensor data

다음은 공간정보와 카메라 영상을 융합하기 위한 캘리브레이션으로서 이는 식 (1)의 영상정보와 공간정보 간 관계식의 파라미터를 구하는 과정이 된다. 여기서  $K_c$ 는 카메라 내부 파라미터 행렬로서 이는 카메라 캘리브레이션에 의해 구할 수 있다. 또한  $[R|t]$  행렬은 3차원 센서와 카메라간의 공간적 이동을 의미하는 외부 파라미터 행렬로서 이는 2D/3D의 특징점 정합에 의해 구할 수 있다<sup>[4]</sup>. Fig. 5는 위의 캘리브레이션 과정들을 거쳐 얻은 파라미터 행렬에 의해 융합된 공간정보를 보여준다. 특히 여기서는 융합된 정보를 이용한 계측 결과도 함께 나타내었는데 융합정보에서 구한 대상체의 길이와 실제 측정결과의 오차가  $\pm 1\text{cm}$  이내로 비교적 정확한 계측정보를 얻을 수 있었다.

$$sp = K_c [R|t] P$$

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 \gamma_u u_0 \\ 0 f_2 v_0 \\ 0 0 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} r_{12} r_{13} t_x \\ r_{21} r_{22} r_{23} t_y \\ r_{31} r_{32} r_{33} t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$



Fig. 5 2D/3D data fusion result by calibration

### 3. 원격작업을 위한 3차원 입체시각 시스템

원격작업을 위한 3차원 입체시각 시스템은 3차원 공간센서 및 이와 연동된 스테레오 HMD, 모션 센서, 능동 카메라 등으로 구성된다. Fig. 6은 3차원 입체시각 시스템의 전체 구성을 표현한 다이어그램이다. 3차원 센서와 능동카메라는 원격지에 설치되어 환경을 인지하는 센서로 활용되며 스테레오 HMD 및 모션 센서는 작업자측에 장착되어 작업환경에 관한 정보를 제공한다. 작업자는 3차원 공간정보와 능동 카메라의 실시간 영상을 선택해서 HMD로 제공받을 수 있는데 이를 음성에 의해 제어할 수 있도록 음성인식 모듈도 통합되었다. 또한 HMD에 장착된 모션센서에 의해 작업자는 머리 움직임으로 공간영상의 3차원 View Point를 제어하여 환경을 용이하게 파악할 수 있도록 구성하였다.

3차원 센서시스템에 의해 취득된 정보를 원격작업자가 활용하기 위하여 필요한 또 다른 주요 요소로서 네트워크를 통한 신뢰성 있는 정보의 전송기능이 있다. 이를 위하여 Indy 네트워크 컴포넌트에 의해 네트워크 전용 프로세스를 할당하여 데이터 송/수신을 구현함으로써 신뢰성 있는 데이터 전송을 실현하였다. 시험결과 무선통신을 통하여 대용량의 공간정보가 안정적으로 데이터가 전송됨을 그리고 네트워크 경로가 간단한 환경에서는 실시간 전송이 가능함을 확인할 수 있었다.

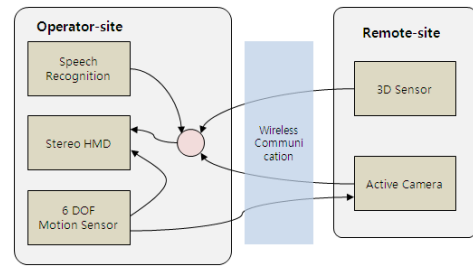


Fig. 6 Overall structure of the 3D visual system

Fig. 7은 시험운영을 통한 통합된 3차원 입체시각 시스템의 공간정보 획득과정을 나타내고 있다. 3차원 센서에서는 공간 스캔과 영상 융합이 실시간으로 진행되고 이는 무선랜을 통해 조작자에게 실시간 전송된다. 전송된 3차원 입체영상은 조작자에 의해 다양한 시각에서 재연가능한데 Fig. 8은 HMD에 장착된 모션 센서에 의해 View Point가 제어되는 모습을 보여준다.

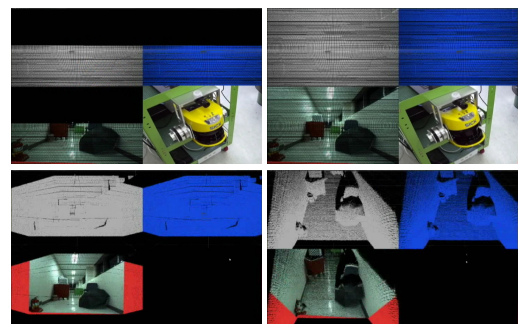


Fig. 7 Acquiring process of 3D sensor system

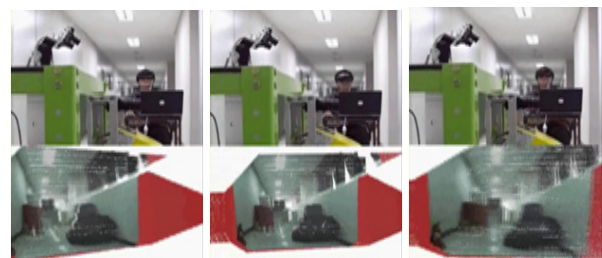


Fig. 8 Test operation of the 3D visual system

## 4. 결론

본 논문에서는 원격작업을 위한 3차원 입체시각 시스템에 대한 개발내용을 제시하였다. 이를 위하여 3차원 공간 센서시스템을 개발하였으며 또한 이를 능동 카메라 및 스테레오 HMD, 모션센서 등을 함께 운용함으로써 작업자가 원격의 작업환경을 입체적으로 인지할 수 있도록 시도하였다. 개발된 시스템은 실환경 시험을 통하여 그 가능성을 확인할 수 있었으며 추후 다양한 전문서비스 로봇의 원격작업에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 이호길 외, "전문서비스용 로봇 발전전략," 차세대 성장동력 Roadmap, 지능형로봇 성장동력사업단, 한국산업기술재단, 2005.
2. M. Buss, G. Schmidt, "Control Problems in multi-modal telepresence systems," Adv. Control, Highlights Eur. Control Conf. (ECC'99), pp. 65-101, 1990.
3. 신용득, 박재한, 백승호, 백문홍, "레이저 스캐너와 카메라를 이용한 3차원 영상표현," 제어로봇시스템 대전충청지부 학회지, pp. 52-55, 2007.
4. 신용득, 박재한, 박경욱, 백승호, 백문홍, "3D 컬러영상 획득," 제어로봇시스템 대전충청지부 학회지, pp. 184-185, 2008.