

다자유도 위치설정을 위한 입력장치의 개발

Development of Input Device for Positioning of Multiple DOFs

김 대 성, 김 진 오*

(Dae-Sung Kim and Jin-Oh Kim)

Abstract: In this study, we propose a new input device using vision technology for positioning of multiple DOFs. The input device is composed of multiple Tags on a transparent table and a vision camera below the table. Vision camera detects LEDs at the bottom of each Tag to derive information of the ID, position and orientation. The information are used to determine position and orientation of remote target DOFs. Our developed approach is very reliable and effective, especially when the corresponding DOFs are from many independent individuals. We show an application example with a SCARA robot to prove the flexibility and extendability.

Keywords: input device, computer vision, robot, SCARA

I. 서론

인간-로봇 상호작용 (HRI: Human-Robot Interaction)은 다양한 의사소통 채널을 통해 인지적/정서적 상호작용을 할 수 있도록 로봇 시스템 및 상호작용 환경을 디자인, 구현 및 평가하는 기술이다. 국내 특허청 특허보고서[1]에 따르면 HRI 기술에 대하여 크게 3가지 기술로 분류하였다. 음성인식, 제스처 인식, 촉각, 힘 인식 등 로봇이 인간의 의사 표시를 인식하기 위한 인식기술과 원격지에 위치한 로봇의 동작을 제어하기 위한 원격조작 인터페이스 기술 및 인간과 로봇간의 암묵적, 쌍방향적 의사소통을 위한 인지 및 감정 상호작용기술로 크게 구분할 수 있다.

본 논문에서는 로봇의 원격조작(Teleoperation)을 위한 위치기반 입력장치를 제안한다. 조작의 대상이 로봇인 경우에 이 로봇을 슬레이브(Slave)라고 하고 조작자가 직접 조종을 하면서 위치와 방향정보를 만들어 내는 조작장치를 마스터(Master)라고 한다. 대부분의 마스터가 슬레이브의 위치 및 힘제어를 위한 것인 반면 본 논문에서 제안하는 새로운 개념의 마스터는 복잡한 자유도의 슬레이브의 목표위치를 설정하기 위한 것이다. 본 연구를 통해서 자유도가 많아질수록 목표위치를 짧은 시간에 설정하는 것이 어려워지는 문제를 해결하고자 한다.

마스터의 구조가 슬레이브의 구조와 같은 경우는 위치와 방향에서 1:1 관계가 존재하므로 가장 쉬운 기구학적인 관계가 만들어진다. 만일 조작자에게 적합한 구조의 마스터를 선정하고 또 작업에 적합한 구조의 슬레이브를 선정할 경우 이 둘은 서로 다른 구조를 갖게 된다. 이 경우는 복잡한 기구학적인 관계를 갖게 되며 이를 수학적으로 해결해 주어야 한다[2]. 슬레이브가 매니플레이터인 경우 마스터도 대부분 매니플레이터 형태를 갖지만 구조적으로는 다르다. 이

경우 마스터의 위치와 방향이 기구학적인 변환을 거쳐 슬레이브의 위치와 방향으로 변환된다. 이와 같이 하나의 마스터를 만들어 기구학적 변환을 거쳐 다양한 슬레이브를 제어하는 경우를 유니버설 마스터(Universal master)라고 한다. 한편 마스터를 조이스틱으로 하는 경우도 있는데 이 경우는 위치정보 대신 속도정보를 이용하는 마스터가 된다.

간단한 로봇청소기와 같은 모바일 로봇의 목표위치 설정을 위해서는 (X,Y,I)의 3자유도를 필요로 한다. 일반적인 조이스틱의 경우 2자유도 또는 3자유도를 가지고 있어 모바일 로봇을 조종할 수 있다. 다수의 모바일 로봇에서는 1:1 매칭이 되는 다수의 입력장치를 사용하여 제어하는 것이 더 직관적이다. 그러나 일반적인 조이스틱을 가지고 6자유도의 산업용 로봇을 조작할 경우 자유도를 만족시키기 위해서 추가적인 조이스틱을 필요로 하게 된다. 6자유도의 산업용 로봇의 경우 자유도를 만족시키기 위해서 고가의 6자유도 조이스틱과 같은 새로운 입력장치를 개발하여 사용하거나 산업용 로봇의 경우 교시박스를 가지고 로봇의 위치와 방향을 조작하여 이를 저장하여 플레이백 시켜 로봇을 동작시키게 된다.

로봇을 수동조작하기 위하여 키보드, 마우스, 조이스틱 및 산업용 로봇의 이동경로를 설정하기 위한 교시박스를 많이 사용하지만 요즘은 터치스크린을 이용한 로봇조종 입력장치도 연구되어 지고 있다[3,4].

조이스틱, 마우스, 키보드, 터치스크린의 경우 2차원 평면상의 대상의 위치 및 방향 조작은 쉽게 할 수 있지만 3차원 공간상의 대상의 위치를 조작하기에는 다소 무리가 있다. 또 조작하여야 할 대상물이 많은 경우 입력장치의 추가가 요구되어 진다. 본 논문에서 제안한 입력장치는 아이디(ID)를 갖는 3자유도 태그(Tag)를 사용하여 공간상의 조작대상을 자유도가 많더라도 입력장치의 수를 늘려서 가능하도록 하는 방법이다. 즉 슬레이브의 개수에 관계 없으며 자유도가 증가하면 더 효과를 갖는 위치설정을 위한 염가형 위치기반 입력장치의 설계, 시험, 검증하는 것이 본 연구의 목적이다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 4. 22., 수정: 2009. 6. 3., 채택확정: 2009. 7. 14.

김대성: 광운대학교 대학원 제어계측공학과(drkimds@kw.ac.kr)

김진오: 광운대학교 정보계어공학과(jokim@kw.ac.kr)

* 이 연구는 광운대학교 2007년도 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II 장에서는 제안된 입력장치와 유사한 테이블 탑 방식의 입력장치들을 설명하고 III 장과 IV 장을 통하여 실제로 제작된 입력장치의 외형과 영상처리 방법에 대하여 설명한다. V 장과 VI 장에서는 입력장치를 유니버설 마스터로 사용하는 방법과 실제 SCARA 로봇에 적용한 실례를 보일 것이다. 마지막으로 VII장에서 결론으로 마무리 한다.

II. 테이블-탑 입력장치들

본 논문에 적용할 입력장치를 개발하기 위해 다 인식이 가능한 멀티터치 및 센스테이블(Sensetable)과 같은 테이블-탑 방식의 입력장치를 조사하였다. 대부분의 테이블-탑 방식의 입력장치는 테이블 상에 디스플레이 되는 화면을 직접 보면서 대상을 선택하고 대상을 이동하는 장점을 활용하고 있다.

그림 1과 같은 뉴욕대학교의 멀티터치 센싱 패널(Multi-touch sensing panel)[5]은 지문 추출을 위해 사용되는 전반사장애현상 (FTIR: Frustrated Total Internal Reflection) 원리에 기반을 두고 있다. 전반사는 임계각 이상의 입사각을 가진 빛이 매질 경계면에서 모두 매질 내부로 반사되는 현상인데, 이 때 매질 외부의 경계면에 광 성질을 가진 물체를 갖다 대면 그 부분에서 전반사 장애가 생겨 빛이 확산된다. 손가락으로 광학 접촉이 이루어지면, 장애 현상이 일어나 아크릴을 통해 수직으로 빛이 분산되어 나온다. 이 적외선 LED 빛을 Bandpass filter를 부착한 적외선 카메라를 사용하여 검출할 수 있게 된다. 이 방법은 저렴하고 쉽게 멀티터치 방식의 테이블탑 입력장치를 구현하기 위하여 많이 사용되고 있다. 그러나 이 입력장치는 손가락만을 사용하기 때문에 위치를 표현할 수는 있지만 방향을 표현하기에는 문제가 있다. 또 다자유도를 제어하기 위한 마스터의 역할을 하기에는 무리가 따른다.

그림 2의 센스테이블(Sensetable)[6]은 MIT 미디어랩에서 개발한 입력장치로 와콤(Wacom)사의 태블릿(Tablet)을 사용하여 전자기적으로 구성된 테이블-탑 표면위를 펍(Puck)이 움직이게 된다. 이 움직임을 태블릿에서 인식하여 무선으로 펍의 위치와 방향을 주 제어기에 알려주게 된다. 이 입력장치는 동시에 6-10개의 펍을 동시에 인식할 수 있다. 넓은 테이블-탑 표면이 필요할 때는 태블릿을 서로 연결하여 확장한다. 이때 태블릿간의 간격은 위치와 방향의 오차를 만들어 낸다.

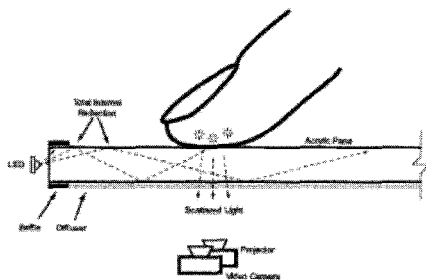


그림 1. Jefferson Han의 멀티터치 센싱 패널.
Fig. 1. Jefferson Han's multi-touch sensing panel.

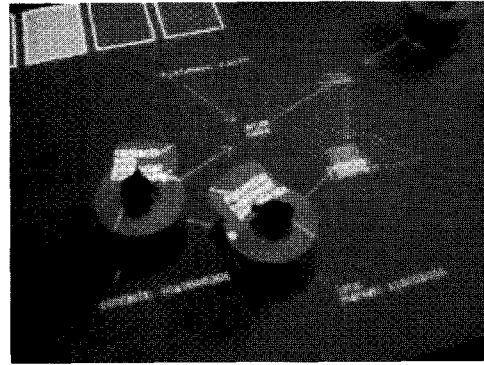


그림 2. MIT에서 개발한 sensetable.
Fig. 2. MIT sensetable.

이 외에도 작은 정사각형 모양의 물체를 가지고 위치를 표현한 Bricks project[7], 전기적인 정전용량 방식을 사용한 DiamondTouch[8], SmartSkin[9], 적외선 카메라를 사용하여 손 영역만 검출하여 응용한 EnhancedDesk[10] 등 다양한 방법으로 테이블-탑 방식의 입력장치의 연구가 진행 되어지고 있다. 본 논문의 입력장치는 조사된 입력장치들의 영상처리 및 인식을 사용하여 구현과 가격적인 Sma가질 수 있게 하였고, 펍과 같은 개념을 사용하여 로봇의 각 축을 표현하고 태그의 조합을 통하여 로봇의 손끝좌표를 표현하여 마스터로서의 역할을 할 수 있게 하였다.

III. 입력장치의 구성

본 논문에서 제안한 입력장치는 크게 아이디어 가진 태그와 태그를 인식하는 비전시스템으로 구성된다. 하나의 태그는 3자유도(X,Y,I)를 가진다. 조작 대상물(슬레이브)의 자유도가 많아서 3자유도를 넘을 경우 간단하게 태그의 추가로 그에 필요한 자유도를 만들어 낼 수 있다. 태그에는 몇 개의 적외선 LED가 부착되어 있고 이 LED의 역할은 각 태그의 구분 및 태그의 위치 및 방향을 나타낸다. 태그는 투명한 유리판을 움직이며 이 유리판 아래쪽에는 비전 카메라가 위치해 있고 이 비전 카메라를 이용하여 각 태그의 움직임을 추적한다[5,6].

그림 3은 본 연구에서 제안하는 입력장치의 구조를 나타낸다. 입력장치는 아이디어를 가진 태그와 태그의 움직임을 추적할 적외선 비전카메라와 비전카메라로부터의 영상을 처리할 영상처리보드로 구성되어 있다. 일반적인 비전카메

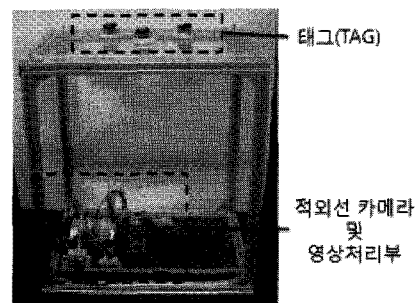


그림 3. 입력장치의 구조.
Fig. 3. Structure of input device.

라를 가지고 영상처리를 통한 물체의 형태를 인식하는 방법은 주변광과 같은 외부 영향에 노출이 되어 태그만 인식하기 위해서는 여러 알고리즘을 적용하게 되어 계산 시간을 많이 필요로 하고 반응 지체 현상을 초래하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 태그에는 적외선 LED를 부착하였고 적외선 통과 필터가 부착된 비전카메라를 사용하여 주변광과 같은 외부 외란에 대응한다. 비전 카메라에 의해 인식되는 태그의 위치와 방향을 별도의 디스플레이 화면에 미리 선정된 좌표축과 함께 보이게 되며 조정자는 이 화면을 보면서 작업을 수행한다.

각각의 태그의 아래 면에 부착되어 있는 LED의 조합에 의해 아이디 및 위치와 방향을 인식하게 되며, 그림 4에서와 같이 최소 3개의 LED에서 최대 8개의 LED를 사용한다. 그러면 그림 4에서와 같이 가운데의 5군데의 위치에 LED가 하나도 없는 상태에서 모두 LED로 채운 상태까지 총 32개의 아이디를 만들 수 있다. 즉 00000~11111의 디지털 이진수와 같이 5개의 적외선 LED의 ON/OFF를 00000~11111과 같은 이진수로 표현하여 32개의 아이디를 생성할 수 있다. 본 연구는 로봇의 자율주행을 위해 천정에 부착되는 인공별 연구[12]의 결과를 더욱 발전시킨 것에 해당한다.

태그의 위치와 각도를 만들기 위해 8개의 적외선 LED중 가운데에 위치한 아이디용 적외선 LED를 제외한 모서리의 나머지 3개(Basis LED)를 가지고 위치와 각도를 만든다. 위치와 각도를 구하기 위해 제일 먼저 태그의 중심점을 찾는다. 태그의 중심은 위치와 각도를 위한 Basis LED를 가지고 간단히 구할 수 있다. Basis LED의 위치는 적외선 LED의 각 좌표를 스캔하여 얻어낸다[12,13].

그림 5에서와 같이 (X_2, Y_2) 와 (X_3, Y_3) 를 통하여 중심점①의 좌표를 구한다. (X_1, Y_1) 과 (X_3, Y_3) 의 중심점을 구하여 ②의 좌표를 구한다. 중심점①의 움직임이 태그의 위치의 변

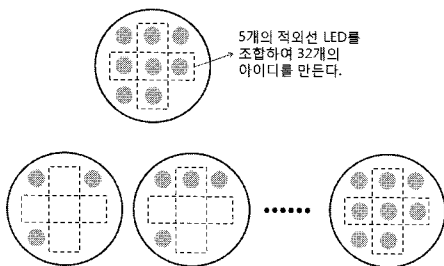


그림 4. 태그의 아이디 분류 방법.
Fig. 4. Method to classify Tag ID.

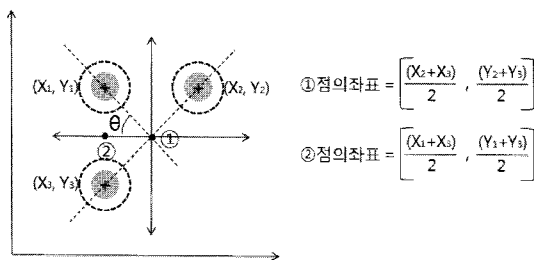


그림 5. 태그의 중심점을 찾는 방법.
Fig. 5. Method to find the center point of Tag.

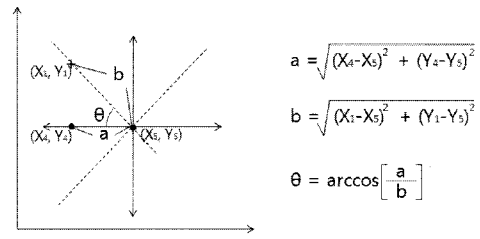


그림 6. 태그의 각도를 결정하는 방법 및 수식.
Fig. 6. Method to determine angle of Tag.

화를 나타내게 된다.

그림 6의 ②의 좌표와 중심점의 좌표를 통해 그림 6의 a, b의 길이를 구하고 그 길이를 이용하여 각도를 구할 수 있다. 여기서 구해진 각도는 절대좌표를 기준으로 한다. 만약 태그가 회전할 경우 각도는, 회전한 후 각도에서 영상처리 후 구해진 처음의 각도만큼을 빼면 간단히 태그의 회전 각도를 구할 수 있다. 이처럼 간단히 태그의 ID, 위치와 방향을 구할 수 있는데 이것을 영상정보의 처리가 완전하게 된다는 가정 아래에서만 가능한 것이며 다음절에는 이 방법에 대한 영상처리와 인식과 관련된 연구내용을 소개한다.

IV. 영상처리 및 인식

태그의 적외선LED 조합은 그림 7과 같은 영상처리와 인식 과정을 통하여 각각 다른 아이디의 태그로 인식된다.

적외선 카메라를 통하여 입력된 영상은 선명하지 않다. 내부에 어두운 부분이 생기게 되고 이 부분은 영상처리과정 중 적외선 LED의 중심을 구할 때 오차를 만들어 내게 된다. 이 오차를 줄이기 위하여 이진화 과정을 거쳐 보다 정확한 적외선 LED의 중심좌표를 얻을 수 있다. 카메라를 통하여 입력된 영상들은 여러 가지 방법을 통하여 서로를 분리할 수가 있다. 많은 물체의 추적이 필요하기 때문에 영상처리의 계산과정을 최소한으로 줄였다. 그리고 적외선 LED와 카메라의 거리를 조정하여 적외선 LED의 영상을 원형에 가깝게 하여 영상처리에 필요한 계산과정을 줄였다. 영상을 처리하기 위해 사용된 입력장치의 사양은 아래의 표 1과 같다.

최대 30프레임/초 빠르기의 적외선 USB카메라(Cut-off peak: 840nm)를 사용하였고 영상처리 시 속도의 지연을 줄

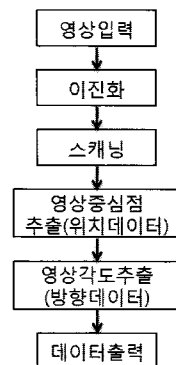


그림 7. 영상처리와 인식 과정.
Fig. 7. Image processing and recognition process.

표 1. 입력장치의 사양.

Table 1. Specifications of input device.

Vision Sensor	
촬상소자	1/4"CCD(35만화소)
렌즈	F2.0, f=4.33mm
처리속도	10~30프레임/초
화각	수직 35도, 수평 35도
IR Pass filter film	
Cut-off peek	840nm
영상처리 보드	
CPU	VIA C7 1.0Ghz
RAM	1GB
Tag	
사이즈	지름 40mm
실험 시 사용개수	4개

이기 위해 고속의 영상처리 보드를 사용하였고 4축 로봇에 적용하여 실험하기 위해 4개의 태그(지름: 40mm)를 준비하여 실험하였다.

본 연구에서는 간단히 각 태그들을 서로 분리하기 위해 스캐닝 과정을 거친다. 스캐닝 과정은 각 적외선 LED의 위치와 태그를 구분하기 위하여 제일 위쪽 픽셀에서 시작하여 아래로, 좌에서 시작하여 우로 영상을 차례차례 비교한다. 먼저 Basis LED를 찾아낸다. 서로의 위치가 어느 일정한 기준안에 들어오면 같은 동일한 태그 안에 존재하는 아이디어를 위한 적외선 LED로 인식하고 어느 일정거리 이상이 되면 다른 태그의 적외선 LED로 인식하여 각각의 다른 태그를 인식한다.

그림 8과 같이 첫 번째 인식된 적외선 LED를 기준으로 다음 인식된 LED거리를 구하고 그 거리가 임의로 정한 기준값에 들어오면 1번 공간에 저장하게 된다. 그 거리가 기준값보다 큰 경우 2번 공간에 저장되게 된다. 이렇게 저장된 값들을 기준으로 각 아이디어의 좌표데이터들을 추출해 낼 수 있다.

태그를 구분하기 위해 영상처리 과정을 거친 데이터들은 그림 9와 같이 표현되어 진다. 좌측상단 ①②의 제일 왼쪽 [0]과 [1]은 각 태그의 실제 아이디어를 나타낸다. 태그 움직임을 표현하기 위한 기준 좌표축은 총 3가지로 표현하였다. 첫 번째 기준 좌표축은 그림 9의 가운데 십자선을 기준으로 한 좌표축이다. ①의 0번 태그의 '55', '-23'은 이 좌표축을 기준으로 표현한 좌표이다. 이 기준 좌표축의 경우 일사분면에서 사사분면까지 모바일 로봇과 같이 고정되지 않은 로봇에 사용한다. 두 번째 기준좌표축은 ①의 괄호 속의

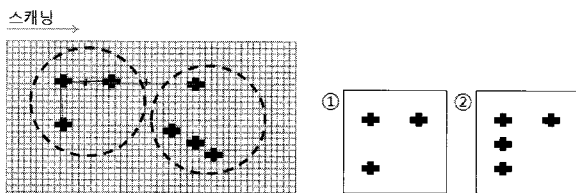


그림 8. 태그를 구분하기 위한 스캐닝 과정.
Fig. 8. Scanning process to separate Tags.

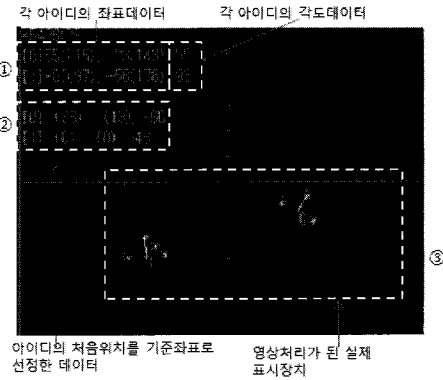


그림 9. 영상처리 후의 실제영상.
Fig. 9. Real image after image processing.

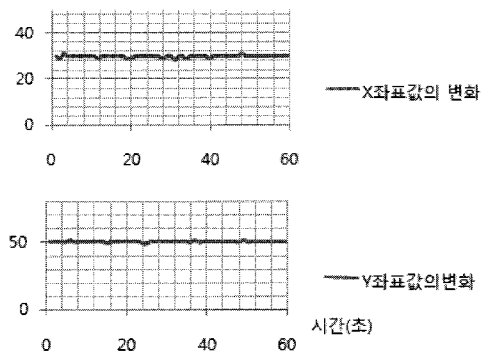


그림 10. 정지된 태그의 위치의 변화량.
Fig. 10. Change of tTag position.

'215, 143'와 같이 제일 좌측 하단을 절대좌표로 놓고 사용한다. 평면상의 직선운동을 하는 피크 앤드 플레이스 로봇 (Pick and Place Robot), 갠트리 로봇(Gantry Robot), 직각좌표 로봇(Cartesian Coordinate Robot)등의 로봇에 사용하고, 로봇의 손끝좌표를 표현하여 수동로봇 조작 시 이 좌표축을 기준으로 위치를 설정한다.

마지막 기준 좌표축은 태그들의 처음위치를 기준으로 한 좌표축이다. 그림 9의 ②와 같이 적외선 LED 태그를 테이블 위에 올려 놓았을 때 적외선 LED 태그의 처음위치를 기준으로 표현된 데이터이다. 슬레이브에 제한 없이 적용할 수 있도록 3가지의 기준 좌표축을 설정하였다.

①의 제일 오른쪽에 있는 데이터는 적외선 LED 태그를 회전시켰을 때의 각도 데이터이다. 태그의 회전을 나타내고 로봇의 회전 조작 시 사용한다. ③은 태그의 적외선 LED의 실제 영상을 나타낸다.

③에서 표현된 실제 인식된 영상은 빛과 같은 외부요인에 영향을 받을 수 있다. 이와 같은 외란은 로봇이 최종 위치에 도착 시 최종위치를 계속적으로 변화 시킨다. 그림 10은 60초정도 시간을 두고 매초마다 태그의 중심점 위치의 변화를 측정한 데이터이다. 정지된 태그의 중심점의 위치의 변화는 로봇 위치의 정밀도에 영향을 주기 때문에 중요한 부분이다.

태그를 이용하여 로봇의 동작 시 중간 경로의 약간의 위치변화는 문제가 되지 않기 때문에 태그에 손이 터치 될

시에만 적외선 LED가 작동하여 처음 시작 위치를 인식하여 로봇을 동작 시키고, 최종 목적 위치에 도달 시 터치스 위치에서 손을 떼면 그 위치를 최종 목적 위치로 인식하도록 하여 로봇이 정지 하도록 하였다.

V. 유니버설 마스터의 사용방법

하나의 태그에서 읽은 정보는 두 개의 위치와 한 개의 방향을 갖고 있다. 이것을 (X, Y, I) 로 표시한다. 즉 하나의 태그로 최대 3 DOF의 슬레이브의 위치설정을 할 수 있다. 만일 2 DOF의 평면운동 매니플레이터의 위치설정을 한다면 하나의 태그에서 출력된 (X, Y) 정보를 가지고 간단히 슬레이브 로봇의 손 끝 위치를 조정할 수 있다. 또한 간단한 모바일 로봇의 위치와 방향도 하나의 태그로 쉽게 조정할 수 있다.

모두 m 개의 태그를 사용하는 경우 마스터 입력장치로부터 구해지는 자유도는 모두 $N (=3m)$ 이며 이들의 좌표는 다음과 같이 표현된다. 총 N 개의 자유도는 $2m$ 개의 위치와 m 개의 방향으로 구성된다.

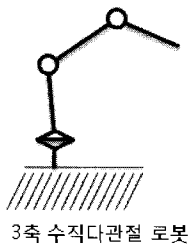
마스터 : $(X_i, Y_i, I_i), (i = 1, m)$
 $N = 3m$
 m : 입력장치의 개수
 N : 입력장치로 가능한 자유도의 수

조작대상이 되는 슬레이브의 자유도가 모두 P 개 일 때 슬레이브의 변수를 일반화 좌표로 표현하면 다음과 같다.

슬레이브 : $(q_1, q_2, q_3, \dots, q_p)$
 q : 슬레이브 일반화 좌표변수
 p : 슬레이브의 총자유도

우리의 입력장치를 마스터로 사용하기 위해서는 슬레이브의 자유도 P 보다 입력장치의 자유도 N 이 커야 한다는 조건을 만족해야 하며 또 슬레이브의 변수와 마스터 변수 사이에 사용자가 이해하기 쉬운 변환관계가 존재해야 한다. 위치변수는 위치변수로 조정하는 것이 편하고 방향변수는 방향변수로 조정하는 것이 편하기 때문에 이들 최대한 살리는 방향으로 하면서 두 개의 변수그룹사이의 적절한 매칭을 찾는 것이 중요하다.

가장 간단한 이동로봇의 경우 변수는 (x, y, θ) 로 표현된다. 이 경우 한 개의 태그를 사용하면 쉽게 해결된다. 즉 마스터의 변수 (X, Y, I) 을 이들과 직접 매칭을 시키면 된다. 위치변수끼리 방향변수끼리 가장 쉬운 사으로 매칭



3축 수직다관절 로봇

그림 11. 3 DOF 수직다관절 로봇.
 Fig. 11. 3 DOF vertically articulated robot.

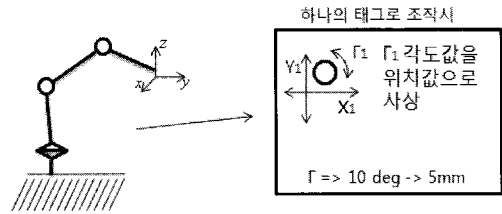


그림 12. 3 DOF 수직다관절을 위한 입력장치(예1).
 Fig. 12. Input device for 3 DOF articulated robot (ex.1).

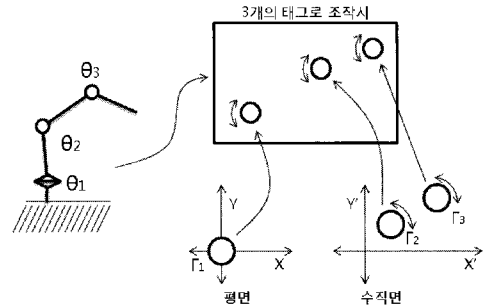


그림 13. 3-DOF 수직다관절을 위한 입력장치(예2).
 Fig. 13. Input device for 3 DOF articulated robot (ex.2).

이 된다. 만일 다수의 이동로봇이 존재하면 그 수만큼의 태그를 사용하면 된다.

위치와 방향변수가 복잡하게 연결되어 있는 매니플레이터의 경우는 이동로봇보다는 좀 더 복잡하지만 여기에서도 가장 쉽고 직관적인 매칭방법을 찾을 수 있다. 가장 큰 문제는 3차원공간의 매니플레이터를 어떻게 2차원공간의 태그들을 이용해서 조종할 것인가 하는 것이다. 예를 들어 3 DOF 수직다관절을 살펴보자. 그림 11은 3 DOF 수직다관절을 나타내며 이들의 손끝 위치 (x, y, z) 가 궁극적인 제어 목표가 된다. 만일 이 로봇이 역기구학을 가지고 있다면 (x, y, z) 를 슬레이브 변수로 하길 바랄 것이고 그렇지 않다면 관절좌표계 $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ 이 슬레이브 변수가 될 것이다.

만일 슬레이브 변수가 (x, y, z) 라면 이들은 슬레이브 변수와 다음과 같이 매칭된다.

$$x \Leftrightarrow X_1$$

$$y \Leftrightarrow Y_1$$

$$z \Leftrightarrow I_1$$

이 경우 마스터의 좌표계는 그림 12와 같이 표현된다. 단 z 의 값이 태그의 각도값과 매칭이 되는 것이 조금 불편할 수 있다. 이를 보완하기 위해서 각도값을 위치로 변환하는 표시해주는 디스플레이 기능을 추가하며 혼동을 피하도록 하였다.

만일 슬레이브 변수가 $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ 로서 모두 방향을 나타내는 것이고 위치를 통해서 방향을 표현하는 것이 직관적으로 매칭되기 어렵다고 느끼게 된다면 태그를 3개 사용하는 것이 좋을 것이다. 사실 태그를 추가하는 것은 여기서 큰 비용이 되지 않는다. 그러면 그림 13과 같이 입력장치 테이블위에 그려진 좌표 상에서 세 개의 태그를 놓으면 된다. 이 경우는 다음과 같이 매칭이 되며 3개의 태그에서의

(X, Y)값은 사용하지 않는다.

$$\begin{aligned} \theta_1 &\Leftrightarrow \Gamma_1 \\ \theta_2 &\Leftrightarrow \Gamma_2 \\ \theta_3 &\Leftrightarrow \Gamma_3 \end{aligned}$$

위의 예와 같이 3개의 슬레이브 변수(P)를 위해 3개의 태그를 사용하면 매스터 변수(M)는 모두 9개 된다. 즉 6개의 여유자유도를 매스터가 갖게 된다. 이 여유자유도는 로봇의 작업과 관련된 다른 목적으로 활용할 수 있다. 예로 물체를 잡고 놓고 하는 것을 선택하는 것, 로봇이 어떤 외부의 교란에도 움직이지 않고 정지하도록 세팅하는 것, Elbow-up과 Elbow-down을 선택하는 것, Zero return을 지시하는 것, 각종 센서의 threshold를 조정하는 것 등등의 목적으로 활용될 수 있다.

앞에서 언급했듯이 슬레이브의 변수와 매스터 변수의 직관적인 매칭을 위해 가장 좋은 조합을 찾는 것도 중요하지만 매스터 측에서 디스플레이를 통해서 보조하는 것도 매우 좋은 방법이 될 수 있다. 이런 방식을 확장하면 어떤 슬레이브의 운동도 본 연구에서 제안하는 매스터로 쉽게 위치설정이 가능할 것이다. 본 매스터의 가장 큰 장점은 쉽게 여유자유도를 만들어 낼 수 있다는 것, 조작자의 피로감이 최소화된다는 것, 조작자가 매우 쉽게 배울 수 있다는 것, 그리고 염가화되어 있다는 것 등이다. 단점은 아직 힘반영 제어 등의 기술이 반영되어 있지 않다는 것이다. 태그에 모터를 넣고 모션을 넣어서 힘반영 제어를 추가하는 것은 본 연구의 범위에서는 다루지 않는다.

VI. 실험: SCARA로봇의 위치설정

입력장치의 유효성을 검증하기 위해서 본 연구실에서 보유중인 그림 14의 4 DOF 수평다관절 로봇(SCARA)을 사용하여 실험을 하였다. 4 DOF의 수평다관절은 3 DOF의 회전축과 1 DOF의 직선축으로 이루어져 있다. 이 경우 수평다관절의 변수는 역기구학을 갖는 경우에는 월드좌표계에서 (x, y, z, a)가 되며 그렇지 못하면 관절좌표계에서 ($\theta_1, \theta_2, z, \theta_3$)가 된다. 대상 로봇은 역기구학을 가지고 있지만 두 개의 좌표계를 모두 위치설정할 수 있다는 것을 보이기 위해 두 가지 경우를 모두 실험한다.

먼저 슬레이브(스카라) 변수가 관절좌표계인 경우($\theta_1, \theta_2, z, \theta_3$)에 대하여 실험을 하였다. 방향이 세 개이고 위치가 한 개이므로 가장 쉬운 방법을 4개의 태그를 사용한 것이다. 그래서 다음과 같은 매칭을 하면 된다.

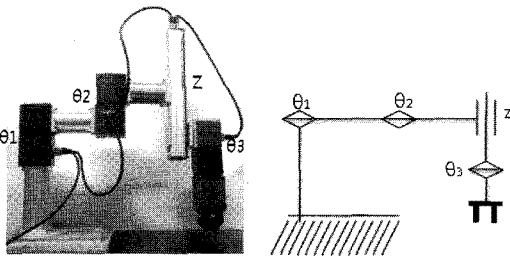


그림 14. 4 DOF 수평다관절(SCARA)의 사진과 구조.
Fig. 14. 4 DOF SCARA.

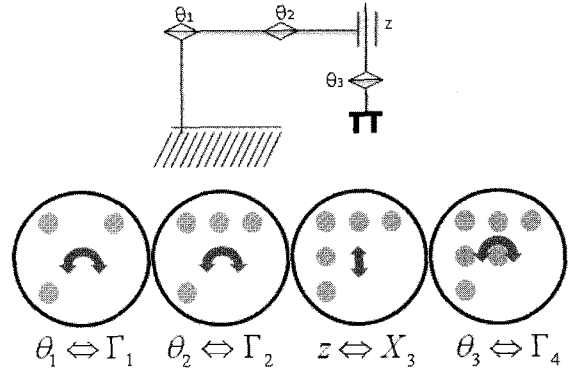


그림 15. 4자유도 SCARA의 각축 위치설정예의 적용.
Fig. 15. Application for 4 DOF SCARA.

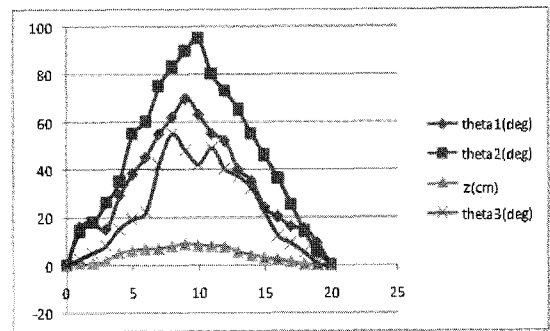


그림 16. 입력장치에 의해 조종되는 SCARA의 관절각도의 변화.
Fig. 16. Joint angles of SCARA operated by input device.

$$\begin{aligned} \theta_1 &\Leftrightarrow \Gamma_1 \\ \theta_2 &\Leftrightarrow \Gamma_2 \\ z &\Leftrightarrow X_3 \\ \theta_3 &\Leftrightarrow \Gamma_4 \end{aligned}$$

그래서 그림 15에서와 같이 태그 하나에 하나의 슬레이브 변수가 매칭되었다. 사용하지 않는 여유자유도 8개는 그리퍼(Gripper)의 조작 등에 활용된다.

1:1 매칭된 태그의 회전 및 직선운동을 통하여 로봇을 조종하게 된다. 이 경우 디스플레이를 보조를 받으면서 높은 직관성을 가지고 로봇을 조작할 수 있다. 로봇의 초기위치 (0,0,0,0)에서 시작하여 태그의 회전과 직선운동을 통하여 로봇의 20초 동안의 움직임을 만들고 다시 로봇의 초기 위치로 되돌아오는 실험을 두 명의 조작자가 두 개씩의 태그를 담당하여 진행하였고, 움직임에 따른 로봇의 좌표를 그림 16과 같은 그래프로 나타내었다.

두 번째 실험은 슬레이브(스카라)의 변수가 월드좌표계인 경우(x, y, z, a)에 대해서 이루어졌다. 두 개의 태그를 사용하기로 하였으며 여기서의 매스터 변수는 슬레이브 변수와 다음과 같이 매칭되었다.

$$\begin{aligned} x &\Leftrightarrow X_1 \\ y &\Leftrightarrow Y_1 \\ z &\Leftrightarrow \Gamma_1 \\ \alpha &\Leftrightarrow \Gamma_2 \end{aligned}$$

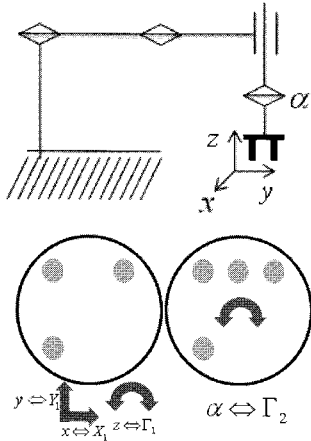


그림 17. SCARA로봇의 손끝좌표 위치설정예의 적용.
 Fig. 17. Position and orientation of the end-effector of SCARA.

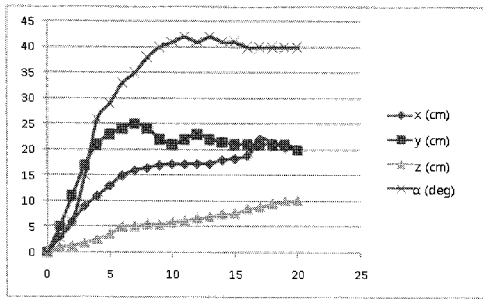


그림 18. 입력장치에 의해 조종되는 SCARA 손끝 위치와 자세.
 Fig. 18. Position and orientation of the end-effector of SCARA.

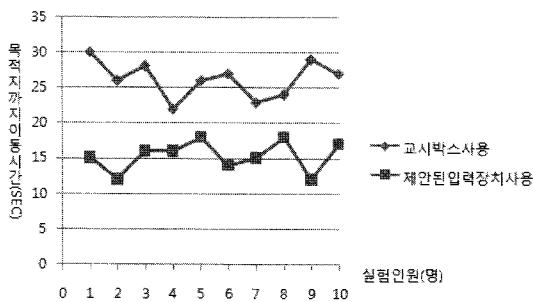


그림 19. 10명 학생의 실험 데이터.
 Fig. 19. Experimental data of 10 students.

그래서 그림 17에서 같은 매칭관계가 만들어진다. 두 개의 여유자유도 (X_2, Y_2)는 첫 번째 실험과 같이 그리퍼의 조작 등에 사용된다.

스카라의 작업영역과 매스터를 위한 입력장치의 작업영역의 크기는 다르므로 이 둘 사이의 비례적인 변환이 이루어진다. 태그의 1mm는 스카라의 10mm에 해당하게 조정할 수 있으며 또 태그이 각도 1도는 스카라에서 z축 방향으로 5mm로 세팅하는 것이 가능하다. 따라서 작업영역의 크기를 고려한 상대적인 좌표계의 설정이 중요하며 이것은 매스터를 세팅하는 변수가 된다.

그림 18은 두 개의 태그를 한명의 조작자가 조작해서 위치와 방향을 (0,0,0)에서 20초 동안 (20,20,10,40)의 좌표로

이동한 실험을 보여준다.

두 개의 실험에서 시간적인 늦어짐이 없이 성공적으로 태그의 위치와 방향을 슬레이브가 잘 추종하는 것을 보여주었다. 제안된 입력장치가 기존의 티칭펜던트(TP)방식의 입력장치에 비해 얼마나 더 효과적으로 사용될 수 있는지를 확인하기 위해 10명의 비전문 피실험자(학생)를 대상으로 실험을 행하였다. 슬레이브는 앞에서의 스카라로봇을 사용하였다.

총 10명의 피실험자를 통해 10회의 비교실험을 수행하였다. 실험 전에 교시박스와 제안된 입력장치의 기본적인 사용설명을 하고 실험을 실시하였다. 실험 내용은 로봇의 초기위치에서 임의의 점까지 위치이동을 시키는데 걸린 시간을 측정하였다.

그림 19를 보면 제안된 입력장치를 사용한 경우가 교시박스를 사용하여 위치이동을 시킨 경우보다 훨씬 빠르다는 것을 알 수 있다. 이 실험을 통해서 제안된 입력장치가 조작성이 용이하고, 조작성에 대한 이해도가 쉽고, 사용에 대한 인지적 부담이 적음을 나타낸다고 할 수 있을 것으로 생각된다.

VII. 결론 및 향후과제

본 논문에서 연구된 입력장치는 다양한 분야에 적용할 수 있다. 제어의 대상이 증가한다면 그 증가한 만큼 태그를 증가시켜 대응할 수 있다. 또 3차원 공간상의 4축 수평다관절 로봇의 손끝 좌표를 표현할 시 2개의 태그를 가지고 효과적으로 로봇의 위치설정이 가능한 것처럼 6자유도의 월드좌표계 표현의 경우 하나의 태그로 (X,Y,Z)를 표현하고 (α,β,γ)를 3개의 태그를 가지고 표현 할 수 있고, 그 이상의 자유도를 태그의 수를 확장함으로써 표현할 수 있다.

만약, 가상현실 속에서 여러 객체를 동시에 움직여야 되는 경우 유용하게 사용되어 질 수 있다. 축구나 농구 같은 여러 명의 선수들이 나오는 게임에 적용할 경우 각각의 태그를 각 선수와 매칭시켜서 각 선수의 움직임을 조종할 수 있다.

무대장치의 조명들을 조종하는 콘솔과 같은 역할도 가능하다. 조명과 태그를 1:1로 매칭시켜 각 조명의 움직임을 조종할 수 있고, 계속적으로 하나의 위치에 집중되어 제어할 때 하나의 태그를 가지고 조종할 수도 있다. 약간의 예만 들었지만 본 입력장치는 여러 분야에 활용될 수 있다고 생각한다.

입력장치 향후 해결해야 될 문제로는 태그 수의 증가 시 지연시간을 해결할 수 있는 알고리즘 추가하여야 한다. 현재 테스트한 입력장치를 위하여 사용된 비전카메라의 경우 초당 30프레임을 표현하지만 더 빠른 표현을 위해 더 고속의 카메라가 필요하다. 더 높은 프레임레이트를 가진 카메라를 사용한다면 더 빠른 움직임을 만들어 낼 수 있을 것이다.

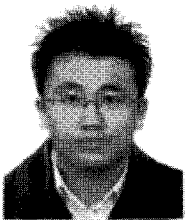
참고문헌

[1] 한국발명진흥회, “인간로봇상호작용기술(HRI),” 특허청 특허분석보고서 제어기계분야, 2005.

- [2] 김상범, 최용제, 김승호, “로봇시스템의 원격제어를 위한 범용6자유도 수동조작기 개발,” 대한전자공학회 학술회의(자동제어학술회의논문집) 제1권, pp. 356-361, 1994.
- [3] 황정훈, 권동수, “터치스크린상의 손가락 움직임을 이용한 이동로봇 조종,” 제13회 HCI.CG.VR.DESIGN.UI 학술대회, pp. 144-149, Feb. 2004.
- [4] A. Courtemanche, M. Micire, and H. Yanco, “Human-robot interaction using a multi-touch display,” *2nd Annual IEEE Tabletop Workshop, poster presentation*, 2007.
- [5] J. Y. Han, “Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection,” *Symposium on User Interface Software and Technology, Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 115-118, 2005.
- [6] J. Patten, H. Ishii, J. Hines, and G. Pangaro, “Sensetable: A wireless object tracking platform for tangible user interfaces,” *Proc. ACM CHI'2001*, pp. 253-260, 2001.
- [7] G. W. Fitzmaurice, H. Ishii, and W. Buxton, “Brick: Laying the foundations for graspable user interface,” in *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing System CHI'86, ACM press*, pp. 442-449, 1995.
- [8] P. Dietz and D. Leigh, “DiamondTouch: A multi-user touch technology,” *USIT '01. ACM Press, New York*, pp. 219-226, 2001.
- [9] J. Rekimoto, “SmartSkin : An infrastructure for freehand manipulation on interactive surface,” *CHI '02. ACM Press, New York*, pp. 113-120, 2002.
- [10] K. Oka, Y. Sato, and H. Koike, “Real-time tracking of multiple fingertips and gesture recognition for augmented desk interface systems,” *Proc. IEEE Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition (FG 2002), IEEE CS Press*, pp. 429-434, 2002.
- [11] 김송국, 이철우, “멀티터치를 위한 테이블 탑 디스플레이 기술 동향,” 한국콘텐츠학회논문지 제7권 제2호, Feb. 2007.
- [12] 방성기, 김진오, “인공별을 이용한 실내주행 로봇의 초기화 문제,” 제어 · 자동화 · 시스템학회 논문지 제13권 제8호, pp. 804-809, 2008.
- [13] K.-H. Cho and J.-O. Kim, “A blinking artificial star system for indoor robot navigation,” *International Journal of ARM*, vol. 7, no. 4, pp. 41-46, 2006.

김 대 성

2009년도 광운대학교 대학원 제어계측 공학과 석사 졸업. 관심분야는 산업용 로봇제어, 이동로봇, 머신비전분야.



김 진 오



서울대 기계공학과(공학사), 대학원 기계공학과(공학석사) 졸업하였으며 미국 Carnegie-Mellon 대학교, School of Computer Science의 Robotics Program에서 박사학위를 받음. 그 후 일본에서 SECOM Intelligent Systems Lab에서

경비로봇에 대한 연구를 수행하였고 삼성전자에서 로봇개발팀장과 로봇사업그룹장으로 근무하였음. 1999년 3월부터 광운대 정보제어공학과에서 교수로 근무 중이며, 차세대성장동력 지능형로봇 기획단장(2003년). 실무위원장(2004년~2008년), 로봇산업정책포럼의장(2006~2008년)을 맡았으며 현재는 로봇기술자격시험제도 운영위원장을 맡고 있음. 지난 15년간 약 200여종의 로봇과 시스템을 개발하여 실제 현장에 적용하였으며 30개 이상의 특허를 출원했음. 관심 연구분야는 작업기반 로봇설계와 로봇의 평가기술을 포함하며 현재 로봇이 이용한 혁신적인 교육방법에 대한 연구에 집중하고 있음.