

산업용 양팔로봇을 이용한 공연 예술 구현 사례

Examples of Art Performing with Industrial Dual-arm Robots

최태용⁺, 도현민¹, 박동일¹, 박찬훈¹, 경진호¹, 김두형¹

Taeyong Choi⁺, Hyunmin Do¹, Dongil Park¹, Chanhun Park¹, Jinho Kyung¹,
Doohyung Kim¹

Abstract In this article art performing applications of industrial dual-arm robots are introduced. It was real collaboration among robot researchers and artist. Artist designed the performance to use dual-arm robot. Robot researchers collaborated with artist by providing robotic constraints and configuring robot motion. Two art performances were configured with two industrial dual-arm robots. In both performance robots carry objects to be used as moving screens. Both performances rely on the high power and high precision of robots. In addition human-like appearance make those performances be familiar to public.

Keywords Dual-arm robot, Art performance, Robot art

1. 서론

로봇연구는 60년대 이후부터 지속적으로 연구자들에게는 흥미로운 연구분야이고, 지속적으로 연구가 이루어지고 있다. 로봇이 가장 많이 쓰이는 분야는 제조분야이다. 산업용 로봇은 SCARA 혹은 Serial 등의 다양한 형태로 한 팔 형태로 개발되어, 다양한 제조분야에서 사용되고 있고, 제조사 또한 많다. 특히 무거운 무게를 견뎌야 하는 자동차 제조라인에 많이 적용되어, 용접, Pick & Place, 부하지지 등을 수행한다.

하지만, 산업용 로봇 외 시장이 열린 로봇은 청소로봇과 장난감 로봇이 전부이며 시장규모 또한 작다. 이런 로봇의 제한된 적용처를 확장하고자 하는 시도로 인간을 대상으로 교육을 하거나 감정을 교류하는 등의 social robot이 활발히

연구되고 있다^[1,2]. 최근에 로봇의 적용분야를 society를 넘어 인간의 감성을 자극하는 문화-예술에까지 접목하고자 하는 노력이 많이 생기고 있다. 대학교 등의 동아리를 중심으로 소형 장난감 휴머노이드를 이용한 댄스 로봇 공연이 대중의 관심을 많이 받으면서, 이제는 상설 공연을 하고 있다^[3]. 국내 로봇관련 대표 행사인 ‘로보월드’에서도 댄스 로봇 공연 및 로봇을 이용한 뮤지컬 등을 최근에는 매년 보여주고 있다^[4]. 로봇 공연을 전문으로 하는 업체도 나타나 공연 전용 로봇을 개발하고, 그 로봇으로 사람을 대신해 공연이나 뮤지컬을 하는 경우도 있다^[5].

지금까지의 로봇을 이용한 공연은 장난감 로봇, 일반 서비스 로봇, 공연 전용 로봇을 이용한 공연이 대부분이었고, 예술보다는 단순 공연에 가까웠다. 인간과의 유사성을 활용한 로봇의 단순 동작과 흥미 위주의 로봇의 동작을 활용한 대중성을 강조한 것이다. 댄스 공연의 경우에도 정밀도는 중요하지 않고, 대략의 동작이 대중이 인지하는 댄스와 얼마나 유사하느냐가 관건이고, 뮤지컬이나 연극 등은 로봇 자체의 동작보다는 외관을 활용한 경우이다. 인간과 교감을 목적으로 하는 안드로이드에 대한 연구와^[6,7] 이런 안드로이드

Received : Oct. 27. 2016; Revised : Nov. 03. 2016; Accepted : Nov. 09. 2016

⁺Corresponding author: Department of Robotics and Mechatronics, Korea Institute of Machinery and Materials, Gajeongbuk-Ro, Yuseong-Gu, Daejeon, Korea (taeyongc@kimm.re.kr)

¹Department of Robotics and Mechatronics, Korea Institute of Machinery and Materials (taeyongc@kimm.re.kr, hmido@kimm.re.kr, parkstar@kimm.re.kr, chpark@kimm.re.kr, jhkyung@kimm.re.kr)

드를 이용해서 연극을 하던 연구도^[8] 있지만 이 또한 사람과의 유사 외관을 구현하는 연구에 그치고 있다. 이는 근본적으로 사용된 로봇의 성능제한에 기인하는 것이 많다. 지금까지의 로봇 공연에서 사용된 로봇들은 크게 서비스 로봇의 범주에 속하는 로봇으로, 정밀도와 힘이 현저히 떨어지는 로봇이었다. 로봇이 좀 더 정밀하고 힘이 세다면 다양한 예술성을 갖춘 공연이 가능하다.

본 논문에서는 산업용 양팔로봇을 활용한 두 가지의 공연 예술을 보여주고자 한다. 로봇의 정밀성을 활용한 모션그래픽과 프로젝션 맵핑을 통해서 흥미로운 시각적 경험을 제공하는 공연 예술을 만들었다. 구현된 공연 예술은 과학과 예술의 만남을 주제로 2014년부터 매년 개최되고 있는^[9]의 ‘아티언스 대전’에서 대중에게 전시되어 좋은 호응을 받았다. 사용된 산업용 양팔로봇은 산업용 로봇이지만, 인간과 유사한 구조를 갖추고 있기 때문에, 대중에게 친밀감을 준다. 또한 산업용 로봇 특유의 고속·정밀성을 갖추고 있어 정밀도와 속도 등을 요하는 복잡한 예술 공연에 적용이 가능하다.

2. 산업용 로봇

2.1 제조용 양팔로봇 AMIRO-M

첫 번째 공연에 사용된 산업용 로봇은 한국기계연구원에서 정부연구사업으로 개발한 양팔로봇 AMIRO-M이다. Fig. 1의 AMIRO-M은 조립작업에 적합하도록 사람과 유사한 형태로 만들었다. 각 팔에 7자유도, 허리에 3자유도를 포함해 총 17자유도를 가지는 로봇이다. 각 팔의 길이는 800 mm이며, 가반하중은 7 kg이상이다. 전체적으로 건장한 성인남성 정도의 크기이다. 반복정밀도는 조인트에서 0.001도 이하의 오차를 보인다. AMIRO-M의 주요 제원은 Table 1과 같다.

2.2 제조용 양팔로봇 AMIRO-1

두 번째 공연 예술에 사용된 양팔로봇은 AMIRO-M과 달리 모바일 기능이 없는 고정형 양팔로봇 AMIRO-1이다^[10]. Fig. 2의 AMIRO-1은 각 팔에 7자유도, 허리에 2자유도를 포함해 총 16자유도를 가진다. 각 팔의 길이는 680 mm이며, 가반하중은 5 kg이상이다. 그 외 특성은 AMIRO-M과 유사

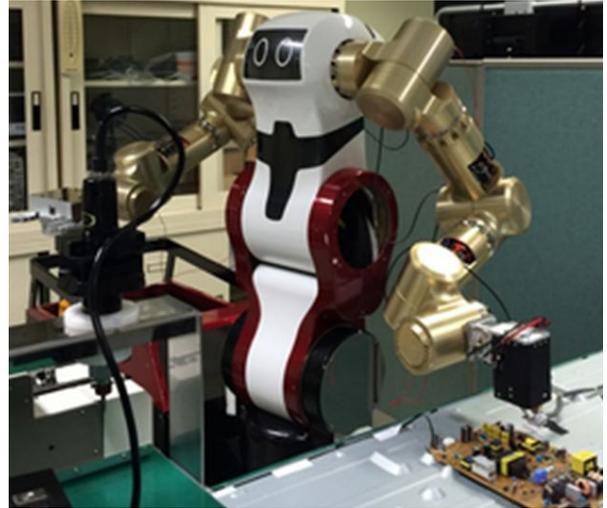


Fig. 1. Industrial dual-arm robot; AMIRO-M

Table 1. Developed Dual-arm robot ‘AMIRO-M’ specifications

	DOF	Weight (Kg)	Length (mm)
Right Arm	7	20	800
Left Arm	7	20	800
Waist	3	> 50 (Only Body)	970 (Only body)

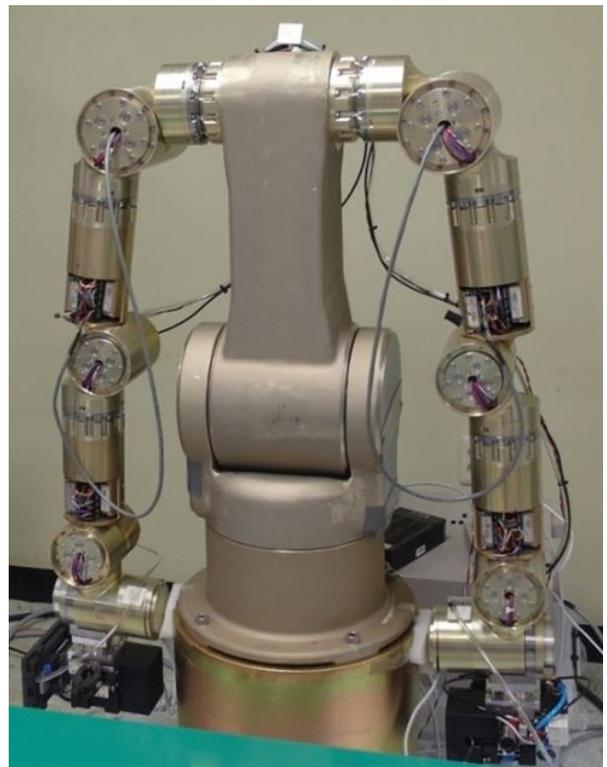


Fig. 2. Industrial dual-arm robot; AMIRO-1

하다. AMIRO-1의 주요제원은 Table 1과 같다.

2.3 양팔로봇 제어시스템

산업용 로봇은 그 정밀성과 속도 때문에 실시간 제어시스템 기반에서 동작해야 한다. 본 개발에서 사용한 EtherCAT 또한 실시간 통신프로토콜이기 때문에 실시간 OS에서 그 성능이 나타난다. 본 개발에서는 실시간 제어 시스템은 microsoft windows 기반으로 구현하였다. 일반적으로 가격적인 문제 때문에 linux에 실시간 Patch를 해서 사용하는 것을 선호하고, 경우에 따라서는 OS 없이 구현하는 경우도 많다. 하지만, 단순히 개발 목적일 경우 windows는 그 편의성 때문에 많은 개발자들이 선호한다. 다만, windows 는 선점형 OS가 아니기 때문에 기본적으로는 실시간 OS의 특성을 가지고 있지 않다. Windows가 실시간성을 가지도록 하기 위해서 본 개발에서는 상용소프트웨어인^[11]의 intervalzero의 RTX를 사용하였다. EtherCAT통신을 위한 물리계층인^[12]의 상용소프트웨어인 Koenig사의 KPA를 사용하였다.

PC기반 실시간 제어 시스템에는 물리적인 통신 계층 외에도 제어를 위해 별도로 개발한 실시간 기구학 및 동역학 알고리즘도 탑재하였다. 보통의 산업용 로봇이 6자유도에 그치는 것과 달리, 개발한 양팔로봇은 각 팔 7자유도와 허리에 2~3자유도를 포함한 16~17자유도를 가지고 있기 때문에, 연산이 많고 여유 자유도를 고려한 역기구학을 풀어야 한다. 개발한 PC기반 실시간 로봇제어기의 개괄적인 구조

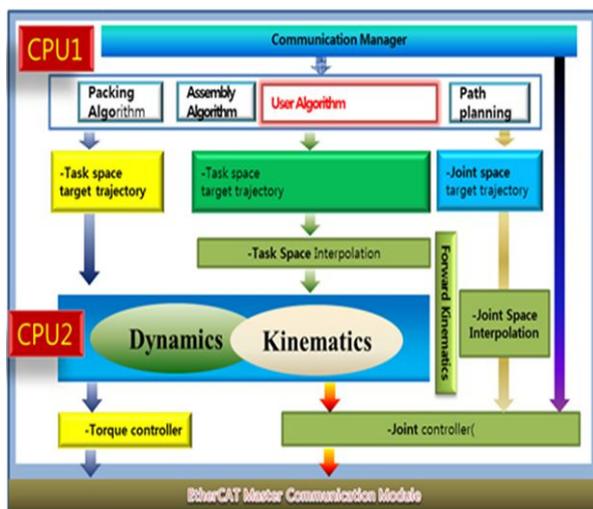


Fig. 3. The concept of the developed real-time control system

도는 Fig. 3과 같다.

한편, 일반적으로 산업용 로봇에서 정밀도와 속도를 확보하기 위해서는 1 kHz이상의 고속 제어주기를 확보해야 한다. 예를 들어 cartesian space에서 움직일 경우, 0.001초 이내에 각 관절의 위치 값을 읽고, 목표 cartesian space에서 보간을 수행하고, 여유 자유도에 대한 역기구학 연산을 하고, 목표 관절 값을 추종하기 위한 전류 값을 만들어 내야 한다. 실험적으로 개발한 PC기반 제어기의 실시간 성능을 확인하였다. 전축에 대한 여유 자유도를 고려한 역기구학 연산 및 EtherCAT를 통한 구동모듈과의 입·출력 통신, torque기반 관절 제어기 등을 구동하였다. 이 때 Fig. 4와 같이 0.001초의 제어시간 내에서 모든 동작이 끝나는 것을 확인할 수 있었고, 최대 jitter도 1% 이내임을 확인 할 수 있었다.

3. 공연 예술의 구현

3.1 공간 제약 시뮬레이션

공연을 구성함에 있어서 제일 큰 제한사항은 로봇의 작업 공간제한과 힘이다. 구성된 공연에서는 로봇의 말단에 프로젝션을 위해 스크린으로 사용할 큐브를 장착하게 되었는데, 그 무게와 크기를 결정하는 것은 로봇연구자의 몫이다. 예술가는 큐브가 크면 클수록 많은 정보를 표현할 수 있기 때문에 이롭다. 하지만, 큐브가 정적으로 위치하는 것이 아니라 로봇의 동작에 따라 움직이기 때문에, 동작간에 자기

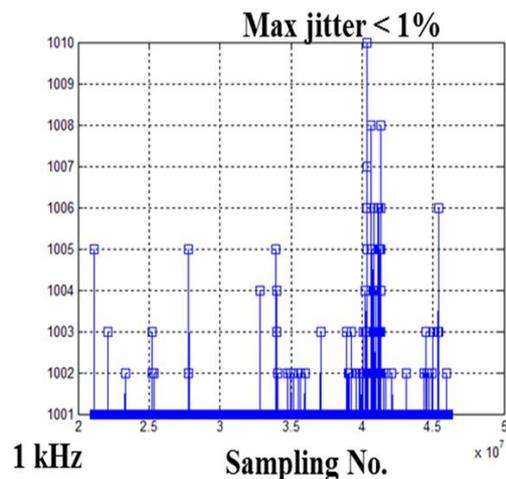


Fig. 4. Jitter when control a dual-arm robot with the developed PC based controller

충돌의 위험이 상존한다. 자기충돌은 제어적 방법으로 회피하는 것이 가능하지만, 공연에서 의도하는 것은 스크린 역할을 할 큐브가 정해진 시간에 정해진 궤적을 따라가는 것이다. 따라서 사전에 시뮬레이션으로 자기충돌을 확인해야 한다. 두 번째 공연도 마찬가지다. 두 번째 공연은 17 inch LCD 모니터를 양손에 부착한 후 움직이기 때문에 특히 공간 제약이 많다. 충돌과 공간 제약을 확인하기 위해서 Fig. 5처럼 LCD모니터와 동일 크기의 부착물을 장착하고 시뮬레이션을 수행하였다.

무게의 경우도 마찬가지다. 일반적으로 로봇의 가반하중은 제한이 있으며, 특히 사용한 양팔로봇의 경우 인간과 유사한 외관과 크기를 유지하기 위해서 가반하중이 5 kg 내외로 제한된다. 상대적으로 유사크기의 양팔로봇의 가반하중이 2 kg이하인 것을 고려하면 월등이 뛰어난 성능이다. 하지만 일반인이 생각하는 로봇의 무한한 힘과는 괴리가 있다. 무게에 대해서는 로봇이 감당할 수 있는지는 이론적으로 동역학 시뮬레이션을 하면 알 수 있지만, 동역학 변수 자체가 오차가 많기 때문에, 기구학과는 달리 실제로는 잘

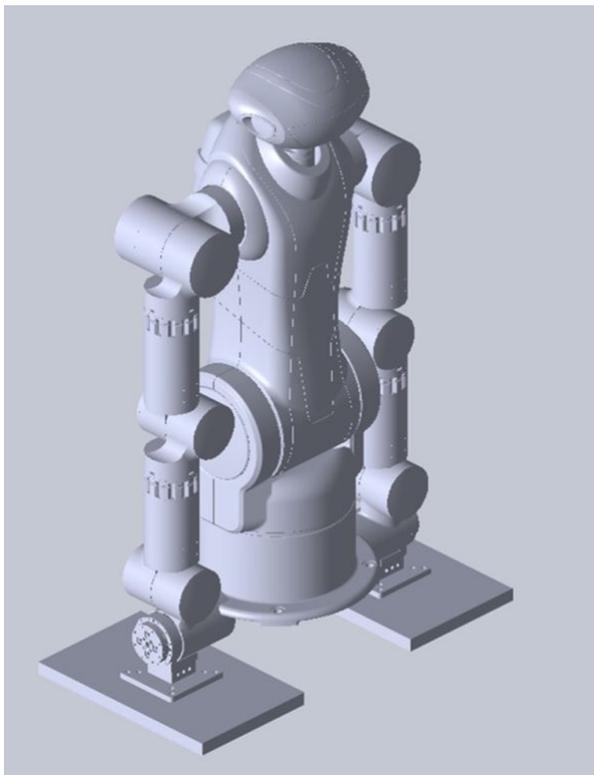


Fig. 5. Simulation model for art performance with AMIRO-1

쓰이지 않는다. 본 연구팀은 공연 구현 시 실제 로봇에 무게 추를 장착하여 목표 속도 이상으로 움직임이 가능한지, 또 가반하중에 따른 위치오차가 없는지를 검증하였다. 두 가지 작품을 구성함에 있어서 가반하중의 절반이하의 무게는 전혀 성능저하를 나타내지 않았다.

3.2 공연 예술 Case 1

첫 번째 작품에서는 로봇의 양손에 의 나무로 제작한 큐브를 장착하고 동작을 취하였다. 큐브의 무게는 500 g 정도로 사용한 양팔로봇의 성능에 비하면 가벼운 편이다.

산업용 양팔로봇을 이용한 공연 예술을 만들기 위해서, 양팔로봇이 두 손에 큐브를 부착한 상태에서 움직일 때 큐브에 영상을 투사 하도록 하였다. 영상은 가상의 사람이 큐브로 이루어진 세상에서 걸어 다니고, 문을 열고 나오고, 그 속에서 사는 모습을 담고 있다. 이 때 중요한 것은, 투사하는 영상의 기준 좌표계가 있고, 로봇의 기준 좌표계가 있을 때, 두 좌표계간의 관계를 알아내는 것이다. 현실적으로 공간상의 기준 좌표계를 설정하고, 로봇과 프로젝터의 좌표계를 일치시키는 것보다는 둘 중 하나를 기준으로 잡고, 한 쪽이 일치시키는 것이 빠르다. 구현 시에는 로봇 좌표계를 기준 좌표계로 설정하고, 프로젝터를 이에 맞췄다. 하지만, 로봇 좌표계 기준으로 프로젝터의 거리나 회전각을 알아내는 것은 정밀한 별도의 센서를 요구하기 때문에, Fig. 6과 같이 trial & error 과정으로 좌표계를 일치시켰다. 구체적으로는 로봇 끝단에 장착한 실제 큐브의 모서리와 영상에서 투사하는 큐브의 모서리를 일치시킴으로서 좌표계 보정을 수행하였다.

이 작품을 구현함에 있어서 실제로 중요한 것은 로봇의

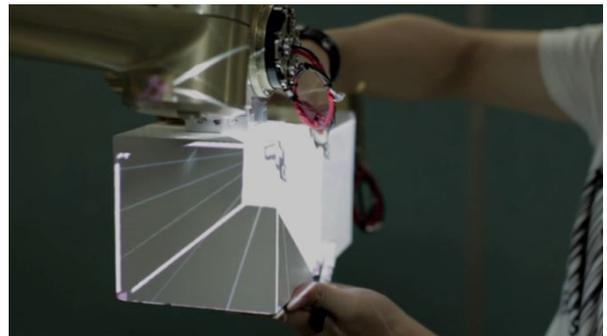


Fig. 6. Coordinate mapping for art performance with AMIRO-M

반복정밀도이다. 서비스로봇의 경우 반복정밀성이 떨어지기 때문에, 본 논문에서 시도하고자 하는 정밀성에 기반한 투사가 불가능하다. 사용한 산업용 로봇은 반복정밀도가 굉장히 우수하기 때문에, 프로젝터와 로봇 좌표계사이의 관계가 정해진 이후에는 Fig. 7~9에서 보듯이 반복적으로 동일한 정밀도를 유지한다. 물론 프로젝터의 공간상의 위치가 영상의 휘어짐 등 때문에 큐브의 모서리와 완전히 일치하는 영상을 투사하는 것은 현실적으로 불가능했다.

3.3 공연 예술 Case 2

두 번째 작품에서는 시점을 추적하는 증강현실구현 등의 기술을 시도하였다. 가상현실 속 물체가 움직이면 그에 맞

춰 로봇이 모니터를 움직이는 식이다. 이러한 기술적 확장을 통해 현실과 가상이 겹쳐지며 경계가 모호해지는 지점에서 나타나는 감성을 드러내려 했다.

이번 작품에서는 로봇의 양손에 각각 17 inch (375 mm × 234 mm)모니터를 부착하였다. 무게는 1.3 kg에 달한다. 이 작품을 구현시에는 모니터의 무게 보다는 크기가 큰 제약사항이었다. 모니터는 정면을 향하도록 해야하고, 서로 충돌하지 않아야 했다. 그럼에도 역동적이고 재미있는 예술 작품을 만들기 위해서는 최대한의 공간을 활용해야 했다. 특히 Fig. 10~12에서 보듯이 팔을 길게 뻗어 로봇의 어깨부분에 토크가 많이 요구되는 동작들이 많았다. 하지만 이 경우에도 정격토크의 절반이하 만이 필요했다.

양팔로봇의 두 손에 모니터를 부착하여 움직일 때 배경과

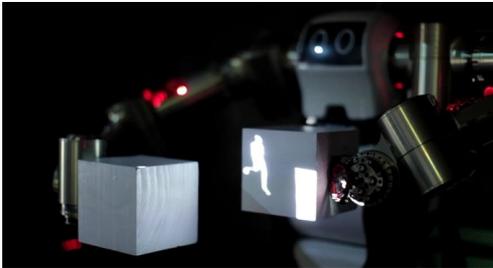


Fig. 7. A scene from art performance with AMIRO-M: a man walk to the door in a cube screen

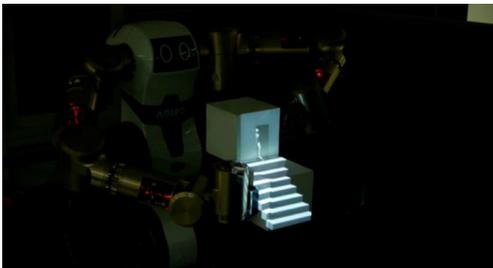


Fig. 8. A scene from art performance with AMIRO-M: a man walk down steps in two cubes

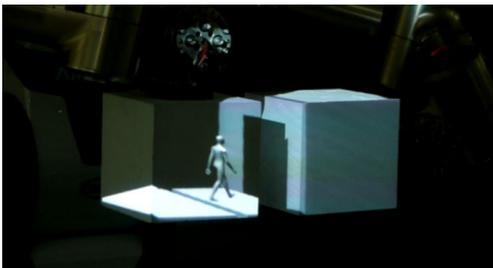


Fig. 9. A scene from art performance with AMIRO-M: a man go pass from a cube to another cube

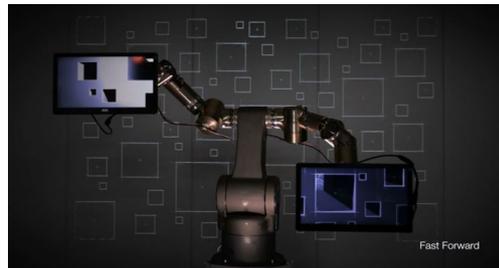


Fig. 10. A scene from art performance with AMIRO-1: Cubes inside monitors are coincide with cubes in back screen

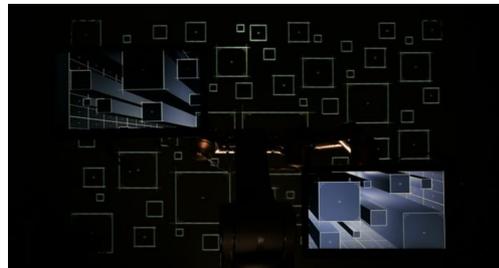


Fig. 11. A scene from art performance with AMIRO-1: Cubes inside monitors are moving from the robot

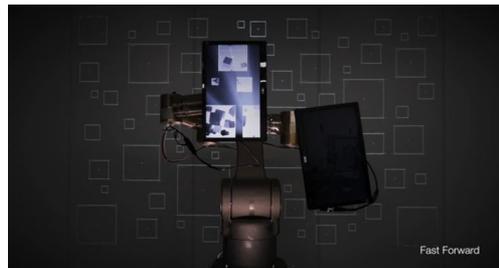


Fig. 12. A scene from art performance with AMIRO-1: Robot is rotating big monitors synchronizing with back screen

동기화하는 영상을 모니터를 통해서 출력하였다. 앞선 공연 예술 Case 1의 외부의 프로젝터를 이용하여 3차원 공간에 투사하는 방식과는 달리, 모니터를 통해서 선명한 영상을 출력하는 방식이기 때문에 좌표계 일치는 필요하지 않았다. 다만, 영상과 로봇의 움직임간의 동기화에 많은 시간이 들었다.

4. 결 론

본 고에서는 산업용 양팔로봇을 이용한 공연 예술 작품 두 편을 소개하였다. 산업용 양팔로봇을 이용함으로써 기존의 서비스 로봇을 이용한 단순 재미 위주의 공연을 뛰어넘는 예술 작품을 구현하였다. 산업용 로봇의 고정밀성과 힘을 이용하여 다양한 예술과의 접목이 가능할 것으로 기대된다. 또한 산업용 양팔로봇은 일반 산업용 매니퓰레이터와 달리 외양도 사람과 유사해서 대중을 대상으로 하는 예술 공연에도 적합하다.

References

[1] S.-S. Yun, H. Kim, J. Choi, and S.-K. Park, "A Robotic System with Behavioral Intervention facilitating Eye Contact and Facial Emotion Recognition of Children with Autism Spectrum Disorders," Journal of Korea Robotics Society, vol.10, no.2, pp.61-69, 2015.

[2] E. Kim, P. Park, and O. Kwon, "A Method to Resolve the Cold Start Problem and Mesa Effect Using Humanoid Robots in E-Learning," Journal of Korea Robotics Society, vol.10, no.2, pp.90-95, 2015.

[3] Dance robot, <http://www.sciencecenter.or.kr/menu.es?mid=a10303020000>

[4] Robotworld, www.robotworld.or.kr.

[5] robotthespian, <http://www.robotthespian.co.kr>.

[6] Y. Matsumoto, M. Yoshikawa, Y. Wakita, M. Sumitani, M. Miyao, and H. Ishiguro, "Impression of Android for Communication Support in Hospitals and Elderly Facilities," Field and Service Robotics, pp.159-173, 2014, Springer.

[7] D. Choi, D.-W. Lee, D. Lee, H. Ahn, and H. Lee, "Desing of an android robot head for stage performances," Artificial Life and Robotics, vol.16, pp.315-317, 2011.

[8] S. Lemaignan, M. Gharbi, J. Mainprice, M. Herrb, and R. Alami, "A Threatre Performance for a Human and a

Robot," International Conference on Human-Robot Interaction, Boston, USA, 2012, pp.427.

[9] 2015 Artience festival, <http://blog.naver.com/artiencelab>.

[10] T. Choi, H. Do, C. Park, D. Park, and J. Kyung, "Development of small-sized industrial dual-arm robot with convenient interface," International Journal of Engineering and Innovative Technology, vol.3, no.2, pp.1-6, 2013.

[11] IntervalZero(IntervalZero RTOS Platform), <http://www.intervalzero.com>.

[12] Koenig(KPA EtherCAT Master), <http://koenig-pa.de/products/kpa-ethercat-master>.



최 태 용

2003 POSTECH 전자전기공학과(학사)
 2010 KAIST 전기전자공학과(박사)
 2010.2~2010.12 삼성전자 생산기술원 책임 연구원
 2011~현재 한국기계연구원 로봇메카트로닉스 연구실 선임연구원

관심분야: 산업용 로봇 제어, 산업 지능 등



도 현 민

1997 서울대학교 전기공학부(학사)
 1999 서울대학교 전기공학부(석사)
 2004 서울대학교 전기컴퓨터공학부(박사)
 2004.8~2007.3 현대자동차 선임연구원
 2007.4~2010.5 AIST(일본) 특별연구원
 2010.6~현재 한국기계연구원 로봇메카트로닉스 연구실 선임연구원

관심분야: 산업용 로봇 제어, 로봇 안전 기술 등



박 동 일

2000 KAIST 기계공학과(학사)
 2002 KAIST 기계공학과(석사)
 2006 KAIST 기계공학과(박사)
 2006~현재 한국기계연구원 로봇메카트로닉스 연구실 선임연구원

관심분야: 로봇 설계, 해석 및 응용 등



박 찬 훈

1994 영남대학교 기계공학과(학사)
1996 POSTECH 기계공학과(석사)
2010 KASIT 기계공학과(박사)
1996~현재 한국기계연구원 로봇메카트로닉스 연구실 책임연구원

관심분야: 산업용 양팔로봇 설계, 군사용 양팔로봇 설계 및 제어 등



경 진 호

1985 한국항공대학교 기계공학과(학사)
1988 한국항공대학교 기계공학과(석사)
2003 KAIST 기계공학과(박사)
2003~현재 한국기계연구원 로봇메카트로닉스 연구실 책임연구원

관심분야: 산업용 로봇 설계 및 제어, 인간 로봇 협조 시스템 등



김 두 형

1982 서울대학교 기계공학과(학사)
1990 KAIST 기계공학과(석사)
2003 KAIST 기계공학과(박사)
1982~현재 한국기계연구원 로봇메카트로닉스 연구실 책임연구원

관심분야: 산업용 로봇 설계 및 제어 등