

공공장소에서 공연을 위한 휴머노이드 로봇 공연 시스템

황희수^{1*}

¹한라대학교 전기전자과

Humanoid Robot Performance System for Performing in Public Places

Heesoo Hwang^{1*}

¹Department of Electrical & Electronic Engineering, Halla University

요약 본 논문은 행사나 전시장 또는 길거리 공연이 가능한 휴머노이드(Humanoid) 로봇 공연 시스템을 제안한다. 본 공연 시스템의 공연 장치들은 모듈 구조로 이동이 쉽고 모듈별 독립 또는 협연이 가능하다. 로봇 공연 시스템은 개선 및 개작이 쉽도록 오픈 소스 기반의 하드웨어 및 소프트웨어로 개발한다. 로봇 공연 시스템에서 로봇, 디스플레이, 오디오, 비디오 및 개별 공연 장치를 제어하는 공연 제어 프로그램은 오픈 소스 언어인 프로세싱(Processing)으로 작성되며 로봇을 이용한 연주 장치와 무대 장치는 오픈 소스 하드웨어인 아두이노(Arduino)를 기반으로 제작된다. 로봇 공연 콘텐츠는 장면별로 이미지, 오디오, 컴퓨터 그래픽 및 비디오 영상 등으로 구성되며 이들을 실행하고 제어하는 로봇 공연 프로그램은 장면별로 로봇 및 공연 장치들과 동기화를 위해 통신한다. 또한 공연에서 주제 표현이 필요한 공연 소품은 3D 모델링 후 3D 프린팅으로 제작한다. 본 로봇 공연 시스템의 콘텐츠는 할로윈 축제를 주제로 구성하며 할로윈 날 전후로 전시장 또는 공연장과 같은 공공장소에서 공연된다.

Abstract This paper proposes a humanoid robot performance system for performing in public places, such as an event, exhibition, or street performance. The system of modular structures can be moved easily, and can be played by a module or a combination of modules. The system developed with open source-based software and hardware is easy to adapt and improve. The robot performance control program for controlling robots, displays, audios, videos, and performance instruments was developed using the open source language, Processing. The performance instruments were developed using the open source hardware, Arduino. The contents of the robot performance were composed of scene-specific image, background audio, computer graphics, and videos. For their control and synchronization, the performance control program communicates with the humanoid robots and the performance instruments. In addition, performance accessories required to represent the performance concepts are produced by 3D modeling and printing. In a public place, the robot performance is performed with the theme of celebrating a Halloween day.

Keywords : Humanoids, Robot-Dance, Entertainment-Robot, Robot-Performance, Robot-show

1. 서론

1.1 연구의 필요성 및 목적

현대 사회의 기술 발달은 예술분야에서도 많은 변화를 가져오고 있다. 기술적으로 표현이 불가능해 창작자의 머릿속에만 있던 부분들이 기술의 발달로 표현이 가능지면서 예술의 범위는 넓어졌고, 장르 또한 모호해지

게 되었다. 인간의 상상력을 현실로 이끌어낸 디지털 및 멀티미디어 기술의 발달은 각기 다양하게 표현되는 미디어를 하나로 통합하여 상호작용이 가능해졌다[7]. 최근에는 더 나아가 문화 콘텐츠와 기술이 융합된 문화기술(CT: Culture Technology)이 하나의 추세를 이루고 있다.

최근 로봇 산업의 비약적인 확장과 발전은 엔터테인먼트

본 논문은 2015년도 한라대학교 교내연구비 지원 과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Heesoo Hwang(Halla Univ.)

Tel: +82-33-760-1249 email: hshwang@halla.ac.kr

Received January 14, 2016

Revised (1st February 5, 2016, 2nd February 24, 2016)

Accepted March 3, 2016

Published March 31, 2016

먼트를 비롯한 다양한 목적의 서비스 로봇 개발에 촉매가 되고 있다. 서비스 로봇은 인간을 돕기 위한 로봇으로 대부분 개발의 궁극적인 목표는 인간을 닮고, 인간처럼 행동하며, 인간을 도울 수 있는 인간형(humanoid) 로봇이다[1,2]. 인간과 흡사한 모습과 유사한 동작을 하는 휴머노이드 로봇은 사람들에게 관심과 흥미를 유발 할 수 있어서 로봇을 이용한 춤이나 공연이 가능하게 되었고 로봇 공연이 공연장에서 이루어지고 있다. 로봇 공연은 인간의 움직임을 모방할 수 있는 동작과 다양한 미디어 및 주변 환경과의 상호작용을 통합하는 새로운 엔터테인먼트의 한 분야로 볼 수 있다. 다시 말해, 로봇 및 로봇 제어 기술 이외에도 스토리텔링 기반의 공연 콘텐츠를 시현할 수 있는 다양한 오디오 및 비디오 처리 기술을 통합하는 문화기술의 한 부류가 되었다[3-6].

2000년대 중반부터 독일은 산업용 로봇 기술을 테마파크에 접목하여 독자적인 문화기술을 확보하였고 영국은 공연용 배우 로봇 기술을 이용한 로봇 전시 분야를 개척하고 있으며 일본은 공연용 로봇을 개발해왔다. 국내의 경우도 비슷한 시기부터 서비스 로봇 기술을 활용한 어린이 대상의 로봇 공연 장트를 개척하였고 최근에는 로봇을 예술 창작의 도구 및 소품으로 인식하여 전통 재현 로봇 등에도 활용하고 있다[9]. 로봇 공연은 공공장소에서 공연 및 이벤트 용도로 활용되어 문화 및 공연 콘텐츠를 제공하는 전문 서비스 분야로 수요가 증가하고 있다[10].

로봇 공연은 로봇의 크기, 무대 및 관객과의 거리 등을 감안하면 소규모의 공연에 적합한데 현재는 로봇 전용 무대가 아닌 일반 무대에서 로봇 공연이 이뤄지다 보니 로봇 공연을 제한하는 요소가 많다. 특히 상설 공연장이 아닌 공공장소의 경우에는 조명, 소음, 무대, 설치 및 이동성 등에서 공연 제한 요소가 더 많다. 이런 이유로 현재 공공장소에서의 로봇 공연은 배경음악에 맞춰 로봇들이 춤을 추는 수준을 벗어나지 못하고 있다. 로봇 체험, 로봇 공연 및 로봇 교육 등 로봇이 활용되는 복합 로봇 문화 공간에 대한 수요가 증가하고 있어 전용 공연장이 아닌 곳에서 로봇 공연을 위해 로봇 공연 전체를 제어할 수 있고 로봇 및 공연 장치가 동기화 되는 로봇 공연 시스템의 필요성도 커지고 있는 실정이다.

본 논문은 행사, 전시장 및 길거리와 같은 공공장소에서 로봇 공연이 가능하도록 모듈 구조의 로봇 무대 및 로봇 연주 장치를 통합한 로봇 공연 시스템을 제안한다.

모듈 구조로 이동이 쉽고 모듈별 독립 공연 및 협연이 가능하다. 향후 개선 및 개작이 용이하도록 공연 장치를 통합 제어하는 로봇 공연 프로그램은 오픈 소스인 프로세싱으로 작성되고 개별 공연 장치는 오픈 소스 하드웨어인 아두이노를 기반으로 개발한다. 로봇 공연 콘텐츠는 장면별로 이미지, 오디오, 컴퓨터 그래픽 및 비디오 영상 등으로 구성되며 이들을 실행하고 제어하는 로봇 공연 프로그램은 장면별로 로봇 및 공연 장치들과 동기화를 위해 통신한다. 주제 표현이 필요한 무대 및 공연 소품은 3D 프린터로 제작한다.

2. 로봇 공연 시스템의 구성

본 연구에서 로봇 공연 시스템은 모듈별 단독 및 협연이 가능하고 향후 공연 장치의 추가 및 유지보수가 용이하도록 Fig. 1의 구성을 갖는다. 본 연구에서 사용한 로봇은 ROBONOVA2로 교육 및 오락 분야에서 주로 사용되는 로봇으로 모터의 탈부착이 가능해 수리가 용이하고 디버깅이 쉬운 장점을 갖는다. 이 로봇의 제원은 Table 1과 같다[13]. 이 로봇은 MR-C3024FX 마이크로 컨트롤러를 사용하며 직렬 통신을 지원하기 때문에 로봇과 외부 장치와 양방향 통신이 가능하다.

Table 1. The specification of ROBONOVA2

Items	Spec.
No. of joints	17
Motor	Digital servo motor
Weight	1.3kg
Size	325 mm×200 mm×100 mm
Motion editor	roboBASIC MF v2.8

2.1 모션 라이브러리

휴머노이드 로봇의 모션 생성을 위해 시간 축에 대한 로봇 모터의 동작을 그래프로 표시하는 방식도[11] 있지만 최근에는 관절 모터의 위치를 캡처하여 모션을 생성하는 방식을 주로 사용한다. 이는 기존의 기계식, 마그네틱 및 광학 방식의 모션 캡처와 달리 부가적인 장비가 필요 없고 공간적 제약도 없으며 정밀도 또한 높은 장점이 있다[8].

본 연구는 로봇 제조사에서 제공하는 모션 편집기로 [13] 각 동작에 대한 순간 모션을 순차적으로 캡처하는

방식을 사용해 동작을 생성한다. 로봇의 시작 및 종료 자세 사이에 적절한 중간 지점들을 캡처하면 이들 지점 사이는 선형 보간에 의해 움직임이 만들어진다. 이렇게 만들어진 다수의 동작들을 연계하여 모션 라이브러리를 구성한다. 모션 라이브러리는 장면별로 로봇이 표현할 움직임으로 구성되어 로봇의 마이크로 컨트롤러에 내장되며 제어 명령에 의해 호출되어 실행된다.

2.2 모듈 구조

공연 시스템의 모듈은 미디 전자드럼, 웨이브 전자드럼, 모니터 디스플레이, RGB LED 패널, 오디오, 로봇 건반 연주 및 댄싱 모듈(Fig. 1에 점선으로 모듈 표시)로 구성되어 있다.

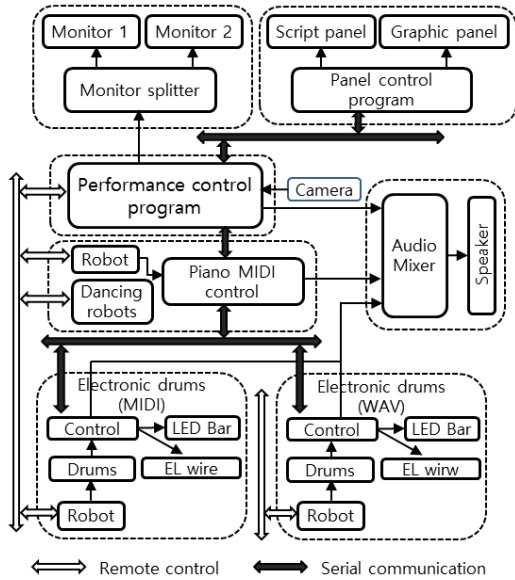


Fig. 1. Configuration of robot performance system

그림에 보인 것처럼 공연 모듈의 동기화를 위해 프로세싱 공연 제어 프로그램은 공연 모듈의 제어 보드들과 직렬 통신을 하고 로봇들과는 리모트 컨트롤 방식으로 통신한다. 공연 제어 프로그램은 장면별로 시작 신호를 전송하고 보드별로 지정된 응답 문자를 수신한다. 로봇은 공연 제어 프로그램에서 전송한 키 값을 받아 이에 대응하는 모션 라이브러리를 호출, 실행한다.

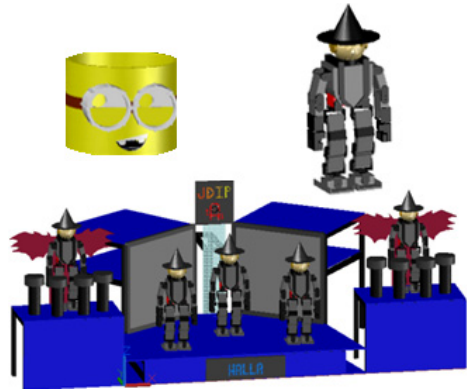


Fig. 2. 3D models for performance accessories

본 로봇 공연 시스템으로 공연할 주제를 표현하기 위해 무대 디자인과 공연 소품을 2D 및 3D 모델로 만들고 3D 프린터와 레이저 가공기로 제작한다. Fig. 2는 일부 소품 및 무대에 대한 모델이다.

2.3 공연 제어 프로그램

미디 신호에 저장된 키 값에 의해 동작 제어용 시퀀스 파일을 선택, 로봇을 제어하는 방식도 있지만[12] 본 논문에서는 전체 공연을 제어할 목적으로 Fig. 1에 보인 공연 제어 프로그램을 오픈 소스인 프로세싱 언어로 작성한다. 프로세싱은 자바 언어를 기반으로 하고 있어서 개발된 애플리케이션이 거의 모든 컴퓨팅 환경에서 동작하는 장점이 있다.

공연 제어 프로그램은 장면별 동기화, 오디오 및 비디오 제어를 위해 다음의 것을 수행한다.

- 리모트 컨트롤 통신으로 공연 로봇들에게 장면 시작 코드를 전송하고 로봇은 장면에 대응하는 라이브러리 동작을 실행
- 직렬 통신으로 패널 제어 프로그램에 장면 시작 코드를 전송하고 패널 제어 프로그램은 장면에 대응하는 자막과 표시 패턴(Fig. 3)을 각각의 RGB LED 패널에 표시
- 장면별로 배경 음악, 컴퓨터 그래픽과 비디오 영상의 재생을 제어
- 장면 3에서 건반연주 제어 보드는 로봇에 부착된 플렉스 센서를 사용, 로봇의 움직임에 따라 미디 건반 음을 발생하고 동시에 음 발생 정보를 직렬 통신으로 프로세싱 공연 제어 프로그램에 전송하

면 공연 제어 프로그램은 화면에 피아노 건반이 표시되고 발생 음에 해당하는 건반이 눌러지도록 컴퓨터 그래픽 화면을 제어

- 장면 4에서 관객을 향해 설치된 카메라에서 촬영한 영상을 실시간으로 캡처하여 공연 화면 중앙에 표시

공연 제어 프로그램, 로봇의 건반 연주 및 전자드럼 장치에 의해 생성되는 모든 오디오 신호는 오디오 믹서로 통합되어 스피커로 출력된다. 공연 제어 프로그램의 비디오 신호는 모니터 분배기를 통해 공연장 및 그 주변에 설치된 다수의 모니터에 전송되도록 한다.

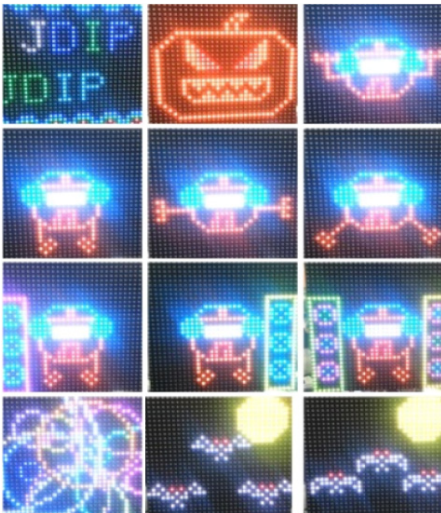


Fig. 3. Display patterns for LED panels

3. 로봇 공연 시스템의 연주 장치

로봇 공연 시스템의 연주 장치는 로봇들의 동작에 의해 음을 발생시키는 장치로 전자드럼과 독주 연주 장치로 이루어져 있다.

3.1 전자드럼 연주 장치

전자드럼 연주 장치로 로봇이 드럼을 타격하면 미디드럼 음을 발생시키는 장치(Fig. 4)와 사전에 웨이브 파일로 저장된 드럼 음을 발생시키는 장치(Fig. 5)가 있다. 미디에 비해 웨이브 파일 재생 방식은 다양한 드럼 음을 저장하여 재생할 수 장점이 있다.

Fig. 6에 보인 것과 같이 전자드럼은 로봇이 드럼 상

부를 타격하면 드럼 상부 아래에 위치한 스위치가 닫히고 아두이노 보드에서 이를 감지, LED를 순차적으로 점멸 제어하는 동시에 미디와 웨이브 제어 보드에 재생할 음에 대한 정보를 직렬 통신으로 전송한다. 미디 및 웨이브 제어 보드는 수신된 정보에 해당하는 음을 재생한다. 전자드럼 장치의 로봇 뒤에 날개 모양의 구조물을 설치하고 날개 끝에 EL 와이어를 두른다. 아두이노 보드는 드럼 하단에 설치된 초소형 마이크로부터 외부 소리에 대응하는 전압을 읽고 드럼 소리에 맞춰 EL 와이어가 점멸되도록 설정된 값 보다 크면 EL 와이어를 점멸하는 제어 신호를 EL 와이어 제어 보드에 송신한다. EL 와이어 제어 보드는 점등을 위해 DC 전원을 인버터로 변환, EL 와이어에 공급한다.



Fig. 4. Midi based electronic drum



Fig. 5. Wav based electronic drum

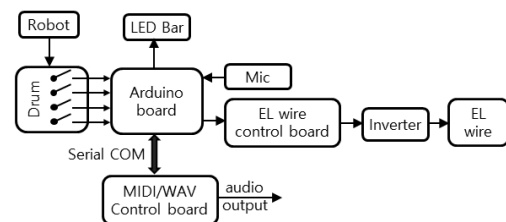


Fig. 6. Configuration of electronic drum

3.2 피아노 연주 장치

로봇의 피아노 연주 장치는 로봇 팔에 부착된 플렉스 센서에 걸리는 전압을 이용하여 미디 피아노 음을 연주하는 장치이다. Fig. 7의 구성과 같이 로봇 팔의 움직임에 따라 플렉스 센서에 걸리는 전압을 아두이노 보드에 입력 받은 후 미디 음 발생이 판정되면 미디 제어 보드와 공연 제어 프로그램에 재생할 피아노 음 정보를 전송한다. 미디 제어 보드는 미디 피아노 음을 재생하고 공연 제어 프로그램은 그 음에 해당하는 건반이 눌러진 효과(피아노 건반의 바탕을 흰색에서 적색으로 변경)를 공연 모니터 화면에 표시한다.

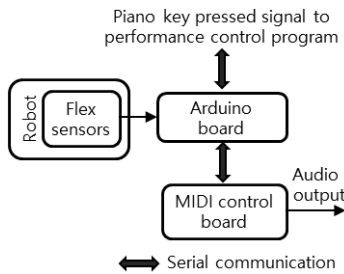


Fig. 7. Configuration of piano playing for robot

플렉스 센서는 안으로 구부러짐에 따라 저항이 달라지는 센서이기 때문에 로봇 팔의 구부러짐과 펴짐을 인식하기 위해 플렉스 센서 2개를 서로 맞대어 로봇 팔 관절 부위에 붙인다. Fig. 8에 보인 것과 같이 로봇의 관절 상태가 변경되는 경우에만 정해진 순서의 미디 피아노 멜로디 음이 발생하도록 한다. 관절의 구부러짐과 펴짐을 결정하기 위한 기준으로 2개의 플렉스 센서에 걸리는 전압 및 그 차를 이용한다.

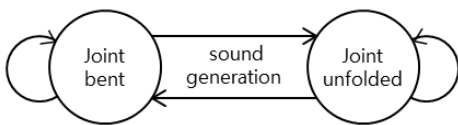


Fig. 8. State transition of robot joints

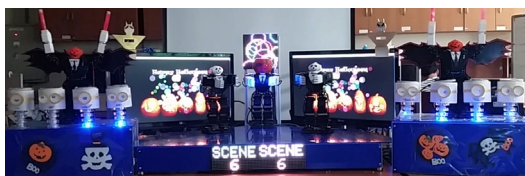


Fig. 9. Performance instruments and stage

Fig. 9는 완성된 로봇 공연 장치와 무대를 보인 것으로 무대 중앙에 위치한 로봇이 연주를 위해 플렉스 센서를 부착하고 있으며 관절의 상태가 변경될 때마다 미디 음 발생과 함께 로봇 손끝에 부착된 LED가 점멸하여 음 발생을 빛으로 알린다.

4. 로봇 공연 작품

공연 콘텐츠의 구성은 Table 2에 제시된 것과 같이 총 8개의 장면으로 이루어진다. 장면 0은 로고 애니메이션이 반복되는 초기 화면으로 공연 프로그램 컴퓨터에서 공연 시작을 알리는 키를 입력하면 장면 1로 넘어간다. 공연 제어 프로그램에서 장면별로 모니터 화면에 표시하는 컴퓨터 그래픽 화면의 일부가 Fig. 10에 보인다. 장면 1은 도입부로 으스스한 할로윈 분위기의 배경 이미지에 앙상한 나무의 가지가 접었다 펴지는 프랙탈 컴퓨터 그래픽[14]이 화면에 보이고 로봇 팔의 움직임과 유사하게 나무가 움직인다. 장면 2에는 해골 모양의 유령이 움직이는 컴퓨터 그래픽[15]이 화면에 보이고 무대 위 로봇의 춤과 전자드럼의 연주가 진행된다. 장면 3에는 캐논 피아노 연주 16 마디가 로봇에 의해 연주되고 동시에 화면에는 해당 음의 피아노 건반이 눌러지는 컴퓨터 그래픽[16]이 보인다. 장면 4는 캐논 힙합 버전을 배경 음악으로 주 무대의 로봇들이 힙합 춤을 춘다. 화면에는 숙명 가야금 연주단 연주 이미지를 배경으로 중앙에 관객의 모습이 실시간으로 캡처, 전송되어 관객도 공연의 일부가 되는 장면을 연출한다. 장면 5는 경쾌한 배경음악의 박자에 맞춰 기하학적 프랙탈 패턴[17]이 색과 모양을 바뀌며 화면에 표시되고 박자에 맞는 로봇의 춤과 드럼연주가 이루어진다. 장면 6은 고조된 축제 분위기를 묘사하기 위해 빠른 락앤롤 음악을 배경으로 화면에는 할로윈 캐릭터 이미지 위에 거품의 움직임을 묘사하는 컴퓨터 그래픽[18]이 보이며 박자에 맞춰 로봇 춤과 드럼연주가 이어지고 로봇의 인사로 공연이 종료된다. 장면 7은 엔딩 스크롤로 기존에 제작된 로봇 공연 영상이 보인다. Fig. 10은 무대 중앙 모니터에 표시되는 화면의 일부 장면을 보인 것이다.

Table 2. The contents of the robot performance

Scene	time (sec)	Contents	Back-ground music	Display	Robot motion
0	Start key	Logo	-	Logo animation	-
1	14	Halloween house and tree	Panet Shiver - Prism	Fractal tree	Motion like branch swaying
2	35	Dance of ghost	Lesiem - Fundamentum	Skeleton ghost	Ghost dance Drum playing
3	25	Cannon piano	-	Piano keyboards	Robot playing using Flex sensors
4	21	Hiphop dance	Cannon - Hiphop Ver.	Video captured by on-line camera	Hiphop dance Drum playing
5	73	Enjoy the Festival	Idiotape - Even Floor	Geometric patterns	Robot dance and drum playing for the rock 'n' roll rhythm
6	30	Enjoy the Festival (Climax)	Idiotape - Melody	Bubbles	
7	Endkey	Ending scroll	-	Videos & reference	-

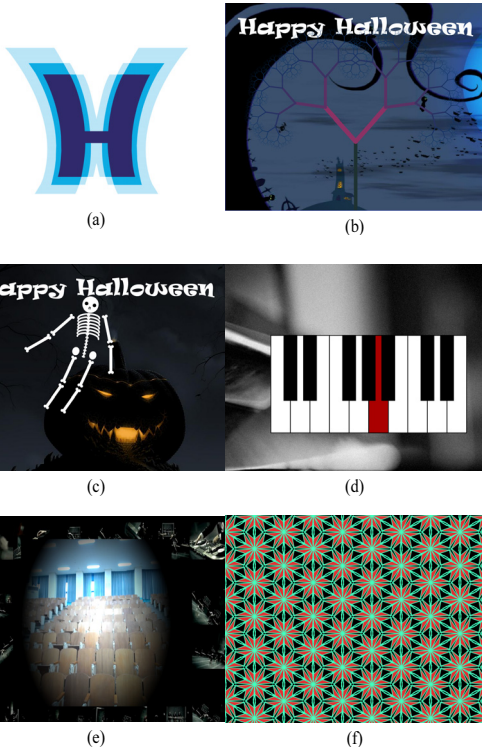


Fig. 10. Scene-specific display screen

- (a) Scene 0 (b) Scene 1 (c) Scene 2 (d) Scene 3
- (e) Scene 4 (f) Scene 5 (g) Scene 6 (h) Scene 7

5. 결론

본 논문은 오픈소스 소프트웨어인 프로세싱으로 전체 공연을 제어하는 프로그램을 작성하고 오픈소스 하드웨어인 아두이노를 기반으로 로봇이 연주하는 전자드럼 및 피아노 독주 연주 장치를 제작하였다. 장면별로 로봇들의 역할에 따라 모션 라이브러리가 만들어졌다. 공연 제어 프로그램은 장면별 동기화를 위해 무선 리모트 컨트롤로 로봇들과 통신하고 연주 장치들과는 직렬 통신을 수행하였으며 배경음악과 컴퓨터 그래픽을 위한 오디오 및 비디오 제어를 실행하였다.

로보노바2에서 제공하는 모션 편집기로 모션의 키 위치를 캡처, 모터들의 위치 값을 알아내는 것은 어려운 일은 아니지만 키 위치들 사이에 선형 보간 과정에서 로봇이 균형을 유지할 수 있도록 키 위치를 선정해야 한다. 모션이 크고 빠를수록 균형을 유지할 수 있는 키 위치를 잡는 것이 중요하다. 플렉스 센서는 구부림이 반복됨에 따라 저항 값이 변하는 특성을 보여서 관절의 구부림과 힘을 판정하는 기준 값을 변경해 주어야 하는 문제가 있었다. 긴 플렉스 센서를 사용하면 기준 값을 정함에 여유가 있겠지만 보다 근본적으로 로봇의 관절 모터가 특정 위치에 오면 로봇이 통신으로 공연 제어 프로그램에 이를 알릴 수 있도록 추후 개선하고자 한다. 공연 제어 프로그램이 장면별로 동기화 신호를 제공하기 때문에 전체적으로 배경음악, 컴퓨터 그래픽 및 로봇의 동작을 동기화 시킬 수 있었지만 일부 장면에서 로봇 동작과 배경음악의 박자 사이에 수십 ~ 수백 ms의 차가 발생하였다. 장면을 보다 세분화하여 동기화시킬 필요가 있어 보인다.

현재 로봇 공연에 사용하는 로봇은 크지 않기 때문에

무대에 근접해서 관람해야 하는 문제가 있다. 로봇을 크게 만들려면 비용이 증가하기 때문에 로봇 공연 장면을 실시간으로 촬영, 무대 화면에 확대하는 방법이 필요하다. 향후 홀로그램 방식이 하나의 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

로봇 공연을 함께한 김도호, 서승민, 유준우, 정희승에게 감사를 표합니다.

References

- [1] S. Kajita, H. Hirukawa, K. Yokoi and K. Harada, Humanoid Robots, Ohm-sha Ltd., pp. 20-24, 2005.
- [2] N. Mimura, M. Sugiura, M. Takahashi, Y. Sassa, A. Miyamoto, S. Sato, K. Horie and R. Kawashima, "Effect of motion smoothness on brain activity while observing a dance: An fMRI study using a humanoid robot", Social Neuroscience, Vol. 5, No.1, pp.40-58, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/17470910903083256>
- [3] C. B. Santiago, J. L. Oliveira, A. Sousa, "Autonomous robot dancing synchronized to musical rhythmic stimuli", 6th Iberian Conf. on Information Systems and Technologies (CISTI), pp. 1-6, 15-18 June 2011.
- [4] Q. B. Zhong, J. Zhao, C. Y. Tong, "Design and implementation of entertainment and competition humanoid robot", International Information and Engineering Technology Association (IETA), REVIEW OF COMPUTER ENGINEER STUDIES, Vol. 2, No. 1, pp. 15-22, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18280/rces.020103>
- [5] S. Paulo, L. O. Joao, P. R. Luis, and G. Fabien, "Humanoid robot dancing: humanoid motion retargeting based in a metrical representation of human dance styles", Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7026, pp. 392-406, 2011.
DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-24769-9_29
- [6] O. Jimmy, "Towards the development of emotional dancing humanoid robots", International Journal of Social Robotics, Vol. 1, No. 4, pp. 367-382, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12369-009-0034-2>
- [7] K. S. Yoon, "Research on interactive multimedia productions with Kinect", Dongguk University, Dept. of Multimedia, Master's Thesis, 2012.
- [8] H. J. Kwok, "Development of humanoid robot based on programming framework of motion editing and playing", Mokpo University, Department of Electrical Engineering, Master's Thesis, February, 2015.
- [9] Ministry of Trade Industry & Energy, and Korea Evaluation Institute of Industrial Technology, Industrial technology R&D strategies(2015~20116) : Robot 19 areas reports, pp. 14-17, 2014.
- [10] Small & Medium Business Administration, Industrial robot applications - Market analysis report, pp. 22-25, 2013.
- [11] Performance system using robots, Patent(A) 10-2013-0088940, 2013.
- [12] Real-time synchronized robot performance system, Patent(B1) 10- 2012-1280137, 2012.
- [13] ROVONOVA2 : <http://www.minirobot.co.kr>
- [14] Open processing fractal tree: <http://www.openprocessing.org/sketch/144435>
- [15] Open processing ghost: <http://www.openprocessing.org/sketch/76296>
- [16] Open processing piano playing: <http://www.openprocessing.org/sketch/137670>
- [17] Open processing geometric pattern: <http://www.openprocessing.org/sketch/166068>
- [18] Open processing bubbles: <http://www.openprocessing.org/sketch/82165>

황 희 수 (Heesoo Hwang)

[정회원]



- 1988년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 (전기공학석사)
- 1993년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 (자동화공학박사)
- 1993년 4월 ~ 2001년 2월 : 한국고속철도기술개발사업단 선임/수석연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 한라대학교 전기전자과 교수

<관심분야>

데이터 기반 모델링 및 제어, 진단, 문화기술, 가상(증강)현실