



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

줄타기를 이용한 인터랙티브
멀티미디어 시스템 제작 연구
(멀티미디어음악 작품 <Bassline>을 중심으로)

지도교수 김 준

동국대학교 영상대학원
멀티미디어학과 컴퓨터음악전공

김 진 응

2016

석사학위논문

줄타기를 이용한 인터랙티브

멀티미디어 시스템 제작 연구

(멀티미디어음악 작품 <Bassline>을 중심으로)

김진웅

지도교수 김준

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2015년 12월

김진웅의 음악석사학위(컴퓨터음악전공) 논문을 인준함

2016년 1월

위원장 김정호



위원 정진현



위원 김준



동국대학교 영상대학원

목 차

I. 서론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 사례연구	3
II. 기술 연구	7
1. 줄타기 모션 트래킹 인터페이스	7
1) 모션 트래킹 방식 선정	7
2) 설계	9
2. 사운드 이펙터	13
1) 설계	14
① 배음 필터링 (overtone filtering)	15
② 실시간 피치 시프팅 (real-time pitch shifting)	17
③ 모션 트래킹 인터페이스 데이터 매핑	18
2) 적용효과	19
3. 영상 시스템	20
1) 설계	21
① 물리 세계 설정	22
② 파티클 설정	23
③ 힘 설정	26
④ 모션 트래킹 인터페이스 데이터 매핑	28
⑤ envelope following 데이터 사용	30
2) 적용효과	31

Ⅲ. 연구 기술의 작품 적용	34
1. 작품 소개	34
2. 작품 구성	35
1) 무대 구성	37
2) 시스템 구성	38
3. 연구 기술 효과	39
1) A 파트 적용 효과	40
2) B 파트 적용 효과	43
3) A' 파트 적용 효과	44
 Ⅳ. 결 론	 46
 참 고 문 헌	 48
ABSTRACT	51
부록(첨부 DVD 설명)	53

표 목 차

<표-1> 모션 트래킹 방식별 장·단점	5
<표-2> 줄타기 모션 트래킹 방식 선정 시 고려사항	7
<표-3> 작품 구성	36

그림목차

[그림-1] 마이크로소프트 키넥트	4
[그림-2] 슬랙라이닝 기술 mojo tap spin(좌), front lever(우)	8
[그림-3] 줄타기 모션 트래킹 인터페이스 설계	9
[그림-4] 모션 트래킹 인터페이스 패치	11
[그림-5] jit.synapse 로우 데이터(좌)와 보정 화면(우)	11
[그림-6] jit.op에 의해 필터링 된 이미지	12
[그림-7] 사운드 이펙터 설계도	14
[그림-8] 피치 디텍팅(pitch detecting) 패치	15
[그림-9] 배음 필터링 패치	16
[그림-10] 실시간 피치 시프트 패치	17
[그림-11] 데이터 매핑 패치	18
[그림-12] 피치 시프트 적용 전(좌), 적용 후(우)	19
[그림-13] 영상 시스템 설계도	21
[그림-14] 물리 세계 설정 패치	22
[그림-15] 파티클 설정 패치	23

[그림-16] 생성된 파티클 화면	24
[그림-17] 파티클 블러 처리 패치	25
[그림-18] 블러 처리된 파티클 모양	26
[그림-19] 힘 설계도	26
[그림-20] 힘 설계 패치	27
[그림-21] 줄타기 모션 트래킹 인터페이스 데이터 매핑 패치	29
[그림-22] envelope following 패치	30
[그림-23] 파티클의 그림자 효과	32
[그림-24] 터지는 모양의 파티클	33
[그림-25] 작품 이미지	34
[그림-26] 무대 구성	37
[그림-27] 시스템 구성	38
[그림-28] 북 소리가 작을 때 파티클 모양(A 파트)	40
[그림-29] 북을 강하게 쳤을 때 파티클 모양(A 파트)	41
[그림-30] 곡예사에게 모여 있는 파티클 모양(A 파트)	42
[그림-31] 곡예사가 점프 후 내려오는 장면(A 파트)	43
[그림-32] 세 부분으로 나누어진 파티클(B 파트)	44
[그림-33] 세 부분으로 나뉘어 움직이는 파티클(C 파트)	45

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

줄타기는 공중에 줄을 매달고 균형 감각에 의지해 줄 위를 걷는 행위를 말한다. 발 폭보다 좁은 줄 위를 걷다가 그곳에서 떨어지기라도 하면 무슨 일이 일어나는지는 모두가 아는 사실이다. 줄타기는 이러한 위험을 담보로 관객의 흥미를 얻는다. 그런 점에서 1974년 미국 뉴욕 월드 트레이드 센터 트윈 타워를 줄로 횡단한 필리프 페티(Philippe Petit, 1949~) 이야기는 역사상 가장 큰 관심을 받은 줄타기라 할 수 있다.¹⁾ 이 소름 끼치는 이야기는 할리우드 영화로 제작되어 다시 한 번 관객들을 트윈 타워 앞으로 불러드렸다. 작년 9월 개봉한 로버트 제메키스(Robert Zemeckis, 1952~) 감독의 영화 하늘을 걷는 남자(The Walk, 2015)는 개봉일 동안 약 474억 원의 흥행 수익을 기록하는 성공을 거두었다.²⁾

그렇다고 큰 위험을 감수한 줄타기만 인기 있는 것은 아니다. 줄타기 묘기는 아찔한 줄 높이만큼이나 관객에게 볼거리를 제공한다. 대표적인 것이 슬랙라이닝(Slacklining)이다. 슬랙라이닝은 슬랙라인(Slackline)이라는 나일론 줄을 사용해 줄을 타거나 묘기를 부리는 운동을 말한다. 특히, 고탄성의 슬랙라인을 이용한 슬랙라이닝 곡예는 현재 인기 익스트림 스포츠 중 하나다. 매년 슬랙라이닝 세계 대회는 개최 때마다 국제적 관심

1) Lichtenstein, Grace (8 August 1974). "Stuntman, Eluding Guards, Walks a Tightrope Between Trade Center Towers". The New York Times. Retrieved 31 October 2010.

2) Box Office Mojo:
<http://www.boxofficemojo.com/movies/?page=main&id=clouds2015.htm>, 2015. 12. 2 검색

을 받고 있으며 인기 스타를 배출하고 있다.³⁾ 2012년 유명 팝 가수 마돈나 공연에서는 2008년 슬랙라이닝 대회 우승자인 앤디 루이스(Andy Lewis, 1986~)가 출현해 다시 한 번 슬랙라이닝을 세계에 알렸다.⁴⁾

줄타기에 대한 관심은 우리나라도 예외가 아니다. 한반도에서 줄타기가 처음 시작된 때는 신라 진흥왕 12년(기원후 551년)으로 추정된다.⁵⁾ 천 년이 넘는 역사를 가지고 있는 것이다. 전통 줄타기는 1986년 중요무형문화재 제58호로 지정되었고, 2011년에는 유네스코 인류무형문화유산으로 등록되는 등 그 가치 또한 인정받았다. 전통 줄타기는 현재에도 끊이지 않고 공연되고 있다.

하지만 줄타기는 그 가치와 공연 예술로서의 높은 가능성에도 불구하고 멀티미디어 분야에는 활용되지 못 했다. 이에 본 연구는 줄타기를 이용한 인터랙티브 멀티미디어 시스템을 개발해 줄타기의 새로운 예술적 가치를 드러내고자 한다. 시스템 개발은 모션 트래킹 인터페이스 설계, 사운드 이펙터 설계, 영상 시스템 설계 세 부분으로 진행되었다. 모션 트래킹 인터페이스는 본 시스템의 엔진에 해당하는 부분으로 곡예사의 움직임을 실시간 데이터화 하는 장치다. 사운드 이펙터와 영상 시스템은 모션 트래킹 데이터를 받아 움직임을 시청각적으로 표현하도록 제작되었다. 시스템 개발은 Max/MSP/Jitter를 사용했다. 본 연구의 후반부에는 연구 기술을 실제 작품에 적용시켜 제작 시스템의 예술적 효과를 가늠했다. 줄타기는 모션 트래킹 인터페이스가 빠르고 격한 동작도 트래킹 할

3) World Slackline Federation, <http://www.wsfed.com/contest-schedule/>, 2015. 12. 2 검색

4) Who Was That Guy in the Toga With Madonna? And What Was He Doing?, http://www.slate.com/blogs/browbeat/2012/02/05/super_bowl_slacklining_sketchy_and_y_in_a_toga_with_madonna.html, 2015. 12. 2 검색

5) 이호승. "한국 줄타기의 역사와 연행 양상." 공연문화연구 14.단일호 (2007): 387-426.

수 있게 설계되도록 전통 줄타기가 아닌 슬랙라이닝을 선택했다.

2. 사례연구

일찍이 관련 학계는 동작 트래킹 관련 인터페이스를 연구해왔다. 일찍이 연구되던 방식은 대상에 센서를 직접 대상에 부착시키는 방식이었다.⁶⁾ 1977년 Rich Sayre에 의해 개발된 Sayre Glove는 장갑에 플렉스 센서(flex sensor)를 넣어 장갑 착용자의 움직임을 실시간으로 받아냈다. 이후 장갑형 인터페이스는 Gary Grimes의 Digital Data Entry Glove, Zimmerman의 DataGlove를 거치며 발전했다. 모두 외관상 장갑이라는 것은 동일하지만 광섬유센서나 관성센서를 사용하는 등 추출되는 데이터의 종류가 다각화되고 정확도 또한 높아졌다.⁷⁾⁸⁾ 이러한 방식의 인터페이스는 다른 부위 용이나 슈트 형으로도 제작된다. 특히 슈트 형의 인터페이스의 경우는 대부분의 관절 움직임을 정확히 트래킹 할 수 있어 3D 애니메이션 제작에 널리 쓰이고 있다.⁹⁾

동작 트래킹의 또 다른 방식은 컴퓨터 비전(computer vision) 방식이 있다. 컴퓨터 비전 방식이란 현실 세계의 물리적 현상, 이미지 등을 컴퓨터 인공 지능 방식을 통해 정보를 수집하고 처리하는 등의 분야를 말한

6) Preece, Jenny, et al. Human-computer interaction. Addison-Wesley Longman Ltd., 1994.

7) Watson, Richard. A survey of gesture recognition techniques. Trinity College Dublin, Department of Computer Science, 1993.

8) Zimmerman, Thomas G., et al. "A hand gesture interface device." ACM SIGCHI Bulletin. Vol. 18. No. 4. ACM, 1987.

9) Roetenberg, Daniel, Henk Luinge, and Per Slycke. "Xsens MVN: full 6DOF human motion tracking using miniature inertial sensors." Xsens Motion Technologies BV, Tech. Rep (2009).

다.¹⁰⁾ 따라서 카메라를 통해 같은 화면을 수집하더라도 지정된 알고리즘에 따라 각기 다른 정보를 수집할 수 있다. 대표적으로 컬러 트래킹(color tracking) 방식은 전체 화면 중에서 지정된 색깔의 위치만 추적할 수 있게 한다.¹¹⁾ 그 외 얼굴의 움직임을 추적하는 페이스 트래킹(face tracking)이라든지 사람의 몸을 트래킹 하는 보디 트래킹 (body tracking) 알고리즘도 연구됐다.¹²⁾¹³⁾



[그림-1] 마이크로소프트 키넥트

컴퓨터 비전 방식 트래킹은 주변 밝기와 외부 물체의 방해로 받지 않기 위해 적외선 카메라를 사용하기도 한다. 적외선 카메라는 3차원 깊이 정보를 추적하는 방식으로 대상을 감지한다.¹⁴⁾ [그림-1]의 키넥트는 최

10) Hartley, Richard, and Andrew Zisserman. Multiple view geometry in computer vision. Cambridge university press, 2003, page 11

11) Rasmussen, Christopher, Kentaro Toyama, and Gregory D. Hager. "Tracking objects by color alone." DCS RR-1114, Yale University (1996).

12) Bradski, Gary R. "Real time face and object tracking as a component of a perceptual user interface." Applications of Computer Vision, 1998. WACV'98. Proceedings., Fourth IEEE Workshop on. IEEE, 1998.

13) Kehl, Roland, Matthieu Bray, and Luc Van Gool. "Full body tracking from multiple views using stochastic sampling." Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on. Vol. 2. IEEE, 2005.

14) Xia, Lu, Chia-Chih Chen, and Jake K. Aggarwal. "Human detection using depth

근 멀티미디어 아트 분야에서 자주 사용되는 적외선 카메라다.¹⁵⁾

<표-1> 모션 트래킹 방식별 장·단점

구 분	세부방식	장 점	단 점
센서 부착 방식	플렉스 센서 광섬유 센서 관성 센서 등	외부 영향 적음	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 움직임 제한 ◦ 센서의 개수의 영향
컴퓨터 비전 방식	컬러 트래킹 페이스 트래킹 보디 트래킹 등	움직임 제한 없음	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 트래킹 알고리즘 영향 ◦ 카메라 화각 영향 ◦ 조명, 주변 물체 등 외부영향 큼

모션 트래킹의 두 가지 방식은 <표-1>과같이 각기 다른 장·단점이 있다. 먼저 센서를 부착하는 방식은 트래킹 대상에 직접 센서가 부착되기 때문에 주변 물체나 조도, 조명 등의 영향을 받지 않는다. 하지만 부착된 센서 때문에 트래킹 대상의 움직임이 부자연스러워질 염려가 있고, 센서가 변형되거나 파손될 수도 있다. 다양한 데이터를 수집하기 위해 그만큼의 센서가 필요한 것도 센서 부착 방식의 단점이다.

반면 컴퓨터 비전 방식은 트래킹 대상에 특별한 장치를 부착할 필요가 없기 때문에 트래킹 대상이 자유롭게 움직일 수 있다. 하지만, 컴퓨터가 트래킹 알고리즘을 만족하는 대상만 추적하기 때문에 트래킹 대상이 알

information by Kinect." Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2011 IEEE Computer Society Conference on. IEEE, 2011.

15) Oikonomidis, Iason, Nikolaos Kyriazis, and Antonis A. Argyros. "Efficient model-based 3D tracking of hand articulations using Kinect." BMVC. Vol. 1. No. 2. 2011.

고리즘에 해당하지 않는 동작을 할 경우 문제가 발생한다. 예를 들어, 페이스 트래킹 방식은 사람이 카메라를 등지거나 옆을 볼 때 얼굴을 인식하지 못 한다. 또한, 컴퓨터 비전 방식은 전체 화면 중 트래킹 대상을 골라내는 방식이기 때문에 조도, 조명, 주변 물체 등 외부 환경의 영향을 크게 받는다는 단점도 있다.

줄타기에 사용할 모션 트래킹 방식은 무엇보다 줄타기의 특성을 고려해 선정되어야 한다. 본 연구에서는 먼저 모션 트래킹에 영향을 줄 수 있는 줄타기의 특징을 고려해 모션 트래킹 인터페이스를 개발했다. 개발된 인터페이스는 곡예사의 움직임 데이터를 변환시켜 이를 사운드 이펙터와 영상 시스템에 전달하는 역할을 한다. 이로써 본 멀티미디어 시스템을 활용한 줄타기는 기존의 그것이 줄 수 없었던 음악, 영상과의 인터랙션을 통해 새로운 예술적 가능성을 드러낼 수 있게 된다.

II. 기술 연구

1. 줄타기 모션 트래킹 인터페이스

1) 모션 트래킹 방식 선정

줄타기 모션 트래킹의 방식은 줄타기의 특성과 공연 환경을 고려해 선정해야 한다. 본 연구에서는 줄타기와 공연 장소에 특징 중 트래킹 방식에 영향을 줄 수 있는 것을 골라 <표-2>와 같이 정리했다.

<표-2> 줄타기 모션 트래킹 방식 선정 시 고려 사항

구분	특징	트래킹 방식 영향
줄타기	모든 신체 사용 (몸, 엉덩이, 팔, 다리 등)	◦ 센서 훼손 우려 ◦ 센서 부착에 따른 동작 제한
	제한된 공간	◦ 컴퓨터 비전 방식 적합
	동작 수시로 변경 (점프, 회전 등)	◦ 몸의 특정 부분 트래킹 제한
공연 장소	조명, 영상 등 주변 환경	◦ 적외선 카메라 사용

줄타기 트래킹에서 고려할 첫 번째 특징은 줄타기가 모든 신체를 사용한다는 점이다. 줄의 반동을 이용해 솟구치는 동작은 기예에 따라 다리, 엉덩이, 등, 가슴 등 거의 모든 신체를 사용한다. 따라서 센서 부착 방식은 센서가 훼손되거나 줄타기 동작에 제한을 줄 수 있기 때문에 줄타기에는 적합하지 못하다. 따라서 줄타기 모션 트래킹은 컴퓨터 비전 방식

을 사용해야 한다.

두 번째 특징은 줄타기가 제한된 공간을 사용한다는 점이다. 곡예사는 설치된 줄 위에서만 좌우로 움직이거나 점프하는 정도로만 움직인다. 이는 곡예사가 카메라 화각 밖으로 나갈 우려가 없어 컴퓨터 비전 방식에 적합한 환경이다.



[그림-2] 슬랙라이닝 기술 mojo tap spin(좌), front lever(우)¹⁶⁾

세 번째 특징은 줄타기에 [그림-2]처럼 몸의 자세와 방향을 바꾸는 동작이 많다는 점이다. 이는 트래킹 알고리즘 제작에 영향을 준다. 보디 트래킹의 경우는 트래킹 대상이 옆을 보는 등 자세를 바꾸면 컴퓨터가 타깃을 인식하지 못하게 된다. 이를 보완하기 위해 여러 개의 카메라를 사용하는 경우¹⁷⁾도 있지만, 줄타기 기술의 경우는 거의 모든 각도로 자세가 바뀔 수 있기 때문에 보디 트래킹, 관절 트래킹¹⁸⁾ 등의 몸의 특정 부

16) Slackline Tricks,

<http://slackline.hivefly.com/slackline-tricks-encyclopedia/#front-flip-dismount>, 2015. 12. 22 검색

17) Kehl, Roland, Matthieu Bray, and Luc Van Gool. "Full body tracking from multiple views using stochastic sampling." Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on. Vol. 2. IEEE, 2005.

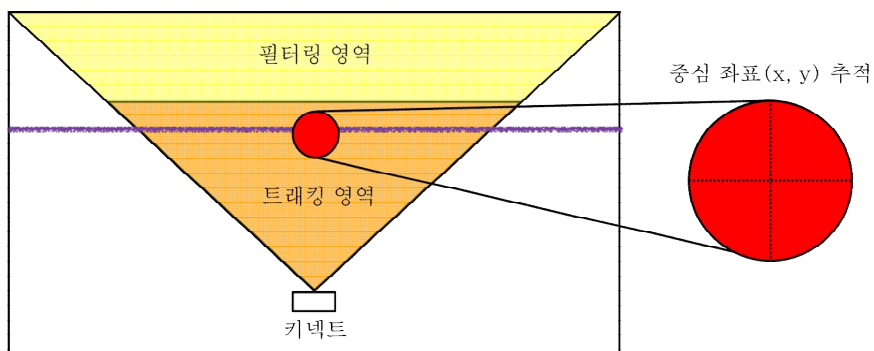
18) Alexiadis, Dimitrios S., et al. "Evaluating a dancer's performance using kinect-based skeleton tracking." Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia. ACM, 2011.

위를 추적하는 알고리즘은 적합하지 못하다.

마지막으로 줄타기는 실내, 실외 공연이 모두 가능하다. 이때 일반 카메라를 사용한 컴퓨터 비전 방식은 조도, 조명, 관객 등 외부 요인의 방해 받을 가능성이 높다. 따라서 줄타기는 적외선 카메라를 사용한 컴퓨터 비전 방식이 알맞다.

2) 설계

줄타기 모션 트래킹 인터페이스의 트래킹 타깃은 곡예사의 무게중심이다. 줄타기의 미학적 근원이 곡예사의 무게중심에 있기 때문이다. 줄타기 관객의 감정은 곡예사의 동작에 영향을 받는다. 균형을 잡기 위해 미묘하게 흔들리는 곡예사의 무게중심은 관객에게 정지된 물체가 주지 못하는 긴장감을 느끼게 한다. 앉거나 눕는 자세가 긴장감을 고조시키는 것은 무게중심이 큰 폭으로 이동하기 때문이다. 특히, 줄타기의 백미인 점프 동작은 가장 격한 무게중심의 이동을 선보인다.



[그림-3] 줄타기 모션 트래킹 인터페이스 설계

본 연구의 줄타기 모션 트래킹 인터페이스는 [그림-3]과 같은 방식으로 타깃의 중심점을 알아낸다. 먼저 슬랙라인을 설치하고 키넥트를 줄과 수평 방향으로 설치한다. 이때 키넥트의 깊이 정보를 이용해 곡예사 뒤에 있는 물체를 필터링해 트래킹 곡예사의 데이터만 남긴다. 이때 키넥트는 남은 데이터를 임의의 물체로 인식하고 그것의 중심점을 실시간으로 도출한다.

본 트래킹 방식은 곡예사의 이동 가능 거리를 먼저 결정하고 주변 영역을 제외하는 방식이기 때문에 주변 요소의 간섭을 받지 않는 장점이 있다. 또한, 이때 곡예사는 보디 트래킹이나 관절 트래킹처럼 트래킹 대상에게 특정 자세를 요구하기 않기 때문에 곡예사가 어떤 자세를 취하고 묘기를 부리더라도 안정적으로 중심점을 추적할 수 있다.

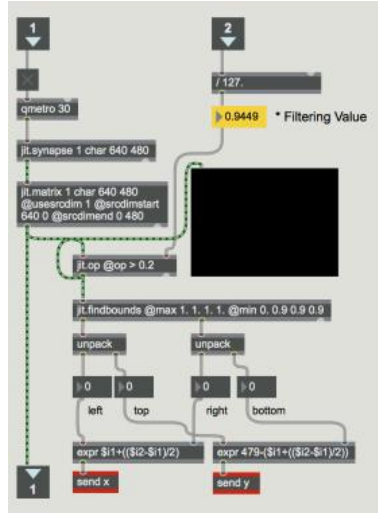
본 연구에서는 키넥트를 컴퓨터에서 사용하기 위해 외부 애플리케이션 Synapse¹⁹⁾와 Jitter 오브젝트 `jit.synapse`를 사용했다.²⁰⁾ 줄타기 모션 트래킹 인터페이스의 소프트웨어 파트는 Max/MSP/Jitter에서 제작되었다.

[그림-4]는 Max/MSP에서 제작된 줄타기 모션 트래킹 패치다. `jit.synapse`를 통해 들어오는 로우 데이터(Raw Data)는 [그림-5]의 왼쪽 그림처럼 실제 움직임을 좌우 반전으로 보여준다. 이를 보정하기 위해 먼저 `jit.matrix`의 어트리뷰트(attribute)²¹⁾를 사용해 이를 다시 좌우 반전 시킨다.

19) Synapse는 키넥트를 맥이나 윈도우에서 Ableton Live, Quartz Composer, Max/MSP/Jitter 컨트롤 용으로 사용할 수 있게 지원하는 프로그램이다.

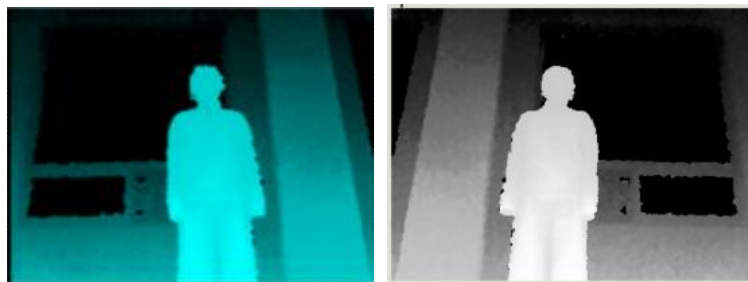
20) Marquardt, Zoe, et al. "Super Mirror: a Kinect interface for ballet dancers." CHI'12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2012.

21) Max/MSP/Jitter에서 어트리뷰트는 오브젝트의 작동 성격을 결정한다.



[그림-4] 모션 트래킹 인터페이스 패치

보정된 화면은 [그림-5]의 오른쪽 그림과 같다. 키넥트 화면은 물체가 키넥트와 가까이 있을수록 흰색에 가깝고, 멀리 있을수록 검은색으로 표시된다. 그림을 보면 트래킹 타깃인 사람과 뒤에 있는 배경의 명도 차이가 뚜렷한 것을 볼 수 있다. 다음에 할 일은 깊이 정보를 이용해 사람 뒤에 있는 영역을 필터링해 타깃 데이터만 남기는 것이다.



[그림-5] jit.synapse 로우 데이터(좌)와 보정 화면(우)

필터링 역할은 [그림-4]에서 `jit.matrix` 아래 연결된 `jit.op`가 한다. `jit.op`는 매트릭스 데이터에 지정된 연산을 하는 오브젝트다. 지금의 경우는 boolean data²²⁾를 내보내는 부등호 연산이 사용됐다. 이때 `jit.op`는 매트릭스에 저장된 개별 정보와 변수를 비교해 연산이 참인 데이터는 1로, 거짓인 데이터는 0을 내보낸다. `jit.op` 두 번째 인렛(inlet)으로 들어오는 filtering value는 대소 관계의 기준이 된다.



[그림-6] `jit.op`에 의해 필터링 된 이미지

`jit.op`를 거치면 [그림-6]과 같이 트래킹 타겟의 실루엣만 흰색이 되고, 뒷배경은 검정이 된다. 이후 타겟의 중심점을 구하는 데는 `jit.findbounds`를 사용한다. `jit.findbounds`는 지정된 범위 내에 있는 데이터 무리를 가상의 사각형으로 인식해 좌상단 모서리와, 우하단 모서리의 x, y 매트릭스 인덱스를 각각 리스트 데이터(list data type)로 내보낸다. `unpack`으로 리스트 데이터를 해제하면 타겟의 가로, 세로축 중심 위치가 도출된다.

인터페이스 아웃풋은 데이터 조합 방식에 따라 세 가지 방식으로 활용

22) 참과 거짓을 1과 0으로 표시하는 데이터.

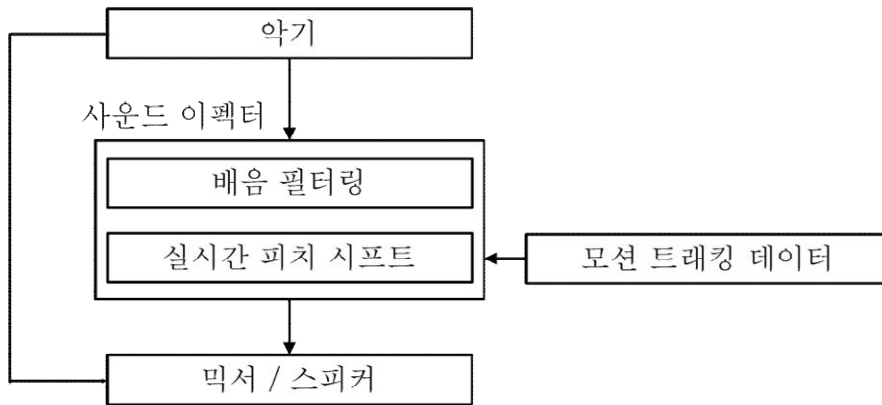
될 수 있다. 가로축 중심 위치만 사용할 경우 타깃의 가로축 위치와 변화폭을 알아낼 수 있으며, 세로축 정보를 활용할 경우 높낮이와 그 변화폭을 파악할 수 있다. 두 데이터를 결합할 경우 좌표평면 상에서 타깃의 위치와 변화폭을 얻을 수 있다. 사운드 이펙터와 영상 시스템은 인터페이스의 두 아웃풋을 쓰임에 맞게 조합해 사용한다. 인터페이스 아웃풋은 $send\ x$, $send\ y$ 를 통해 사운드 이펙터와 영상 시스템으로 전달된다.

2. 사운드 이펙터

본 연구에서 제작한 사운드 이펙터는 공연 시 연주되는 악기를 위해 제작되었다. 사운드 이펙터는 실시간 피치 시프팅(pitch shifting) 기법을 통해 줄타기 곡예사의 움직임에 비브라토(vibrato)로 표현한다. 실험 악기는 콘트라베이스를 선정하였다. 음향학적으로 콘트라베이스는 낮은 피치를 내는 악기이기 때문에 이펙터를 사용해 높은 쪽으로 피치 변화를 주기에 알맞기 때문이다. 하지만, 제작된 이펙터는 쓰이는 방법에 따라 다른 악기에도 충분히 사용할 수 있다.

사운드 이펙터는 악기 소리의 전체를 피치 시프트 하지 않고 실시간으로 특정 배음 이상의 소리만 필터링해 이동시킨다. 이는 음악적 선율을 보존하고 강함 불협화음이 발생하는 것을 방지한다. 또한, 기술적으로도 낮은 주파수 대역이 제거되었기 때문에 이펙터 처리 시간에 따른 위상 문제(phase problem)를 억제하는 효과도 있다.

1) 설계



[그림-7] 사운드 이펙터 설계도

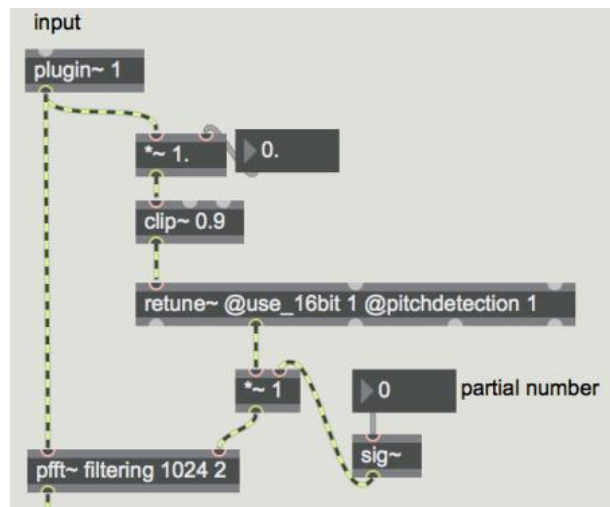
사운드 이펙터는 [그림-7]과 같이 두 부분으로 구성된다. 첫 번째는 배음 필터링 파트다. 배음 필터링 파트에서는 먼저 실시간으로 연주되는 악기의 기음(fundamental tone)을 알아낸다. 그리고 그 피치에 특정 정수를 곱해 정수배음렬의 해당 배음의 피치를 구한다. 배음의 피치는 FFT 기법을 활용해 배음 피치 아래 주파수 대역을 필터링 하는 데 사용한다.

두 번째 파트는 실시간 피치 시프트 파트다. 이 파트는 배음 필터링 파트에서 걸러진 사운드의 피치를 변경하는 역할을 한다. 피치 시프트는 줄타기 모션 트래킹 인터페이스에서 전송하는 타깃의 위치 데이터를 실시간으로 받아 사용한다. 이때 곡예사가 기준 지점을 오르내릴 때 시각적으로 변하는 높이 변화가 피치의 변화로 표현된다.

최종적으로 사운드 이펙터가 적용된 사운드는 프로세스를 거치지 않은 사운드와 함께 재생된다. 이때 소리는 사운드 이펙터가 특정 배음 이상의 소리에만 프로세싱을 걸어 내보내기 때문에 기음은 유지되면서 고음

주파수 대역에 미묘한 변화가 생기는 성격을 가진다. 변화의 폭은 곡예사가 상하로 움직이는 거리에 비례한다.

① 배음 필터링(overtone filtering)

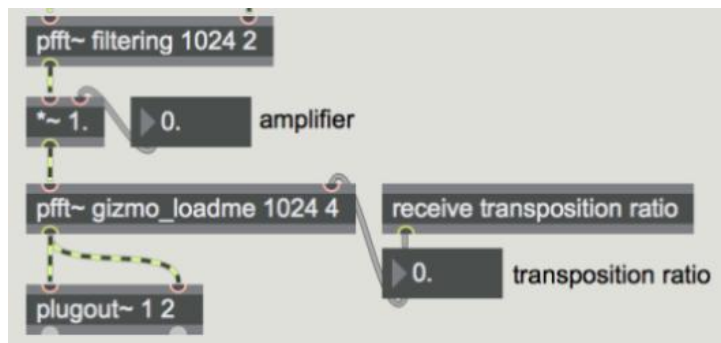


[그림-8] 피치 디텍팅(pitch detecting) 패치

[그림-8]은 사운드 이펙터에서 기음의 피치를 감지하는 피치 디텍팅 패치 화면이다. 이 패치에서는 악기 사운드가 plugin~으로 들어오면 먼저 원활한 피치 디텍팅을 위해 *~ 오브젝트를 통해 사운드를 적당량 증폭시킨다. clip~은 이때 증폭된 사운드의 주파수 대역 중 클리핑(clipping)을 일으키는 부분의 음량을 필터링하는 역할을 한다. 이후 신호가 retune~으로 들어오면 두 번째 아웃렛에서 기음의 주파수가 나온다. 이 주파수에 *~를 사용해 배음 번호를 곱하면 원하는 필터링 주파수

풋의 주파수가 FFT 주파수보다 클 때만 신호를 내보내므로 설정한 배음 주파수 이상의 소리만 fftout~을 통해 MSP 신호로 변환된다.

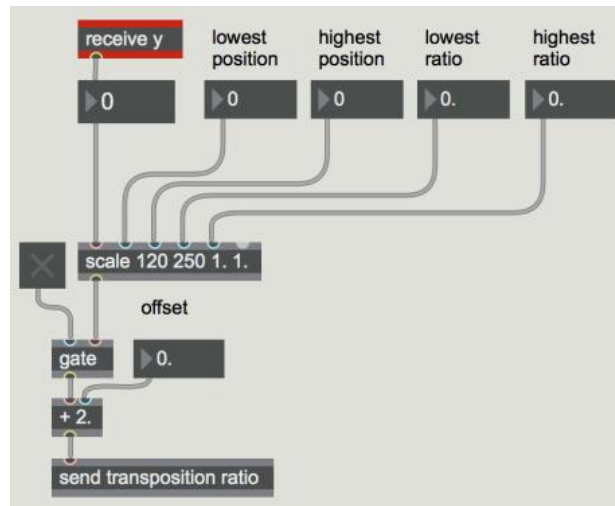
② 실시간 피치 시프팅(real-time pitch shifting)



[그림-10] 실시간 피치 시프트 패치

[그림-10]은 pfft~에서 필터링 된 사운드를 모션 트래킹 인터페이스 데이터를 사용해 실시간 피치 시프팅 하는 패치 화면이다. 필터링 된 사운드는 악기의 상위 배음에 해당하는 주파수 대역이므로 그 음량이 작다. *~은 이를 음악적 목적에 따라 음량을 적당량 증폭시키는 역할을 한다. 이후 사운드는 pfft~ gizmo_loadme를 통해 피치 시프트 된다. pfft~ 내부에는 pfft~ 전용 피치 시프트를 오브젝트인 gizmo~가 있다. pfft~ 오른쪽 인렛에 입력되는 것은 피치 시프트 정도를 결정짓는 음정 변환 지수(transposition ratio)다. 여기에는 receive를 통해 피치 시프트에 적합하게 매핑(mapping) 된 모션 트래킹 데이터가 입력된다.

③ 모션 트래킹 인터페이스 데이터 매핑

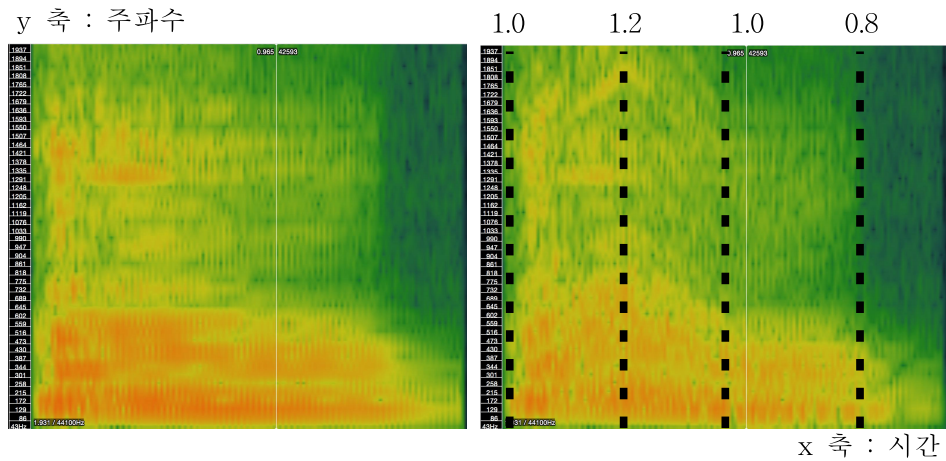


[그림-11] 데이터 매핑 패치

[그림-11]은 모션 트래킹 데이터를 피치 시프트에 맞게 변환하는 패치 화면이다. 먼저 가장 위에 있는 receive로 모션 트래킹 데이터 중 y 축 중심점이 들어온다. 가공되지 않은 y 축 중심점의 범위는 0부터 480이다. scale은 이 데이터를 다른 범위의 값으로 매핑하는 역할을 한다. 네 개의 인렛으로 입력 데이터의 범위와 출력 데이터의 범위를 입력하면 scale은 입력 데이터를 실시간으로 출력 데이터의 범위에 맞게 변경시켜 내보낸다. scale에 연결된 gate는 피치 시프트의 동작 여부를 결정할 때 사용한다. +오브젝트는 scale에서 나오는 음정 변환 지수에 오프셋(offset)을 주고 싶은 경우 사용한다. 완성된 데이터는 send를 통해 피치 시프트 파트로 전달된다.

2) 적용효과

본 연구의 사운드 이펙터는 악기의 피치를 실시간으로 분석해 특정 배음 이상의 소리만 피치 시프트 하는 역할을 했다. 이 파트에서는 사운드 이펙터의 효과를 측정하기 위해 이펙터를 적용한 소리와 적용하지 않은 소리를 스펙트로그램(spectrogram) 분석했다. 효과 측정 방법은 다음과 같다. 녹음한 콘트라베이스 소리를 볼륨이 동일한 두 개의 오디오 트랙에 넣어 하나의 트랙에만 사운드 이펙터를 설치했다. 이후 한 번은 이펙터를 적용하지 않고 오디오 파일을 추출했고, 다른 한 번은 이펙터를 적용한 상태에서 오디오 파일을 추출했다. 이때 사운드 이펙터는 네 번째 배음을 차단 주파수로 설정했다. 음정 변환 지수는 시간에 따라 1.0, 1.2, 1.0, 0.8 순으로 설정했다. 분석 결과는 아래 [그림-12]와 같다.



[그림-12] 피치 시프트 적용 전(좌), 적용 후(우)

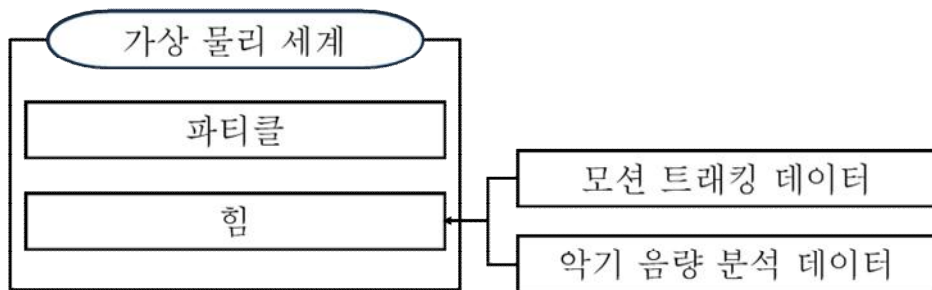
[그림-12]의 왼쪽 그림은 이펙터가 적용되지 않은 파일의 스펙트로그램이고, 오른쪽은 이펙터가 적용된 오디오 파일의 스펙트로그램이다. 스펙트로그램 중 붉은색에 가까운 구역이 높은 진폭을 가지고 있는 주파수 대역이다. 피치 시프트가 적용되지 않은 왼쪽 그림을 보면 사운드가 일관된 피치를 가지고 있는 것을 볼 수 있다. 반면, 사운드 이펙터가 적용된 사운드는 설정된 음정 변환 지수에 따라 피치의 변화를 보였다. 특히, 눈여겨볼 것은 피치가 변하는 주파수 대역이다. 스펙트로그램 중 아랫부분이 기음의 주파수 대역인데, 이펙터가 적용된 사운드의 경우를 보면 기음은 일관된 피치를 내고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 보통의 비브라토가 줄 수 없는 새로운 형식의 예술적 표현을 가능하게 한다.

3. 영상 시스템

줄타기는 중력을 기본으로 줄의 탄성력, 점프의 관성력 등 다양한 물리적 요소가 결합된 예술이다. 본 연구의 영상 시스템은 이를 감안해 물리 엔진(physics engine)을 기반으로 곡예사의 움직임을 시각적으로 표현하기 위해 제작되었다. 물리 엔진으로 제작된 영상은 기존 영상이 줄 수 없는 물리적인 표현을 가능케 한다. 영상 시스템은 사운드 이펙터를 곡예사의 움직임을 음악적으로 표현했던 것과 같은 맥락으로 곡예사의 움직임을 시각적으로 확장시킨다.

1) 설계

영상 시스템에 기본이 되는 것은 가상의 물리 공간(physics world)이다. 이 공간은 실제 세계처럼 고유의 사이즈와 중력을 갖는다. 물리 공간을 구성하는 첫 번째 요소는 파티클(particle)이다. 파티클은 상자, 공 등과 같은 현실 세계의 물체와 같이 눈에 보이는 물체를 말한다. 물리 세계의 파티클은 각기 다른 무게, 재질 등 고유의 특성을 가질 수 있다. 두 번째 요소는 힘(force)이다. 여기서 힘은 파티클을 밀거나 당기는 등의 눈에 보이지 않은 물리적 힘을 말한다. 가상 물리 공간에서는 여러 종류의 힘을 설정할 수 있다.

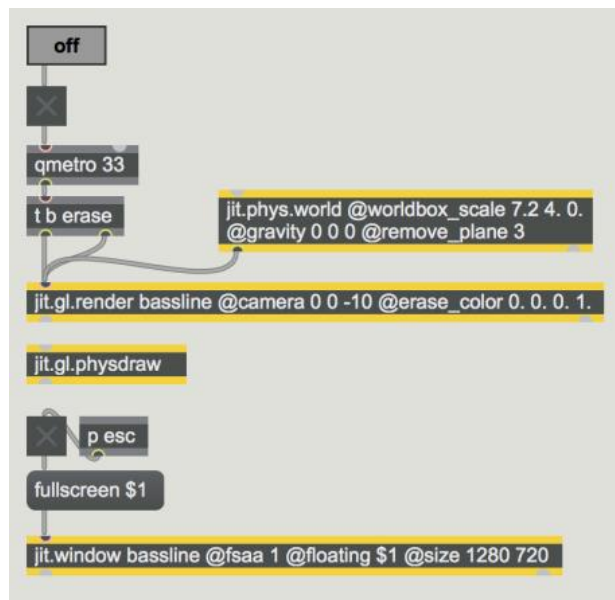


[그림-13] 영상 시스템 설계도

[그림-13]은 영상 시스템의 설계도다. 영상 시스템에서 힘을 제어하는 것은 모션 트래킹 인터페이스 데이터와 악기 음량 분석 데이터다. 먼저 모션 트래킹 인터페이스를 통해 전달되는 곡예사의 위치는 힘의 위치를 설정하는 데 사용된다. 이때는 곡예사의 위치로 힘이 지속적으로 물체를 당겨 파티클이 곡예사를 따라다니는 효과를 만든다. 악기 음량 분석 데

이터는 리듬 파트 악기의 음량 데이터를 사용한다. 다음으로 악기의 음량 데이터는 모션 트래킹 데이터와 반대로 파티클을 사방으로 밀어내는 충격으로 사용된다. 충격의 세기는 악기의 음량에 비례해 악기를 세계 칠수록 파티클이 멀리 뻗어나간다. 충격을 받아 힘의 작용점에서 떨어져 나간 파티클은 일정 시간이 지나면 끌어당기는 힘에 의해 다시 제자리로 돌아온다.

① 물리 세계 설정

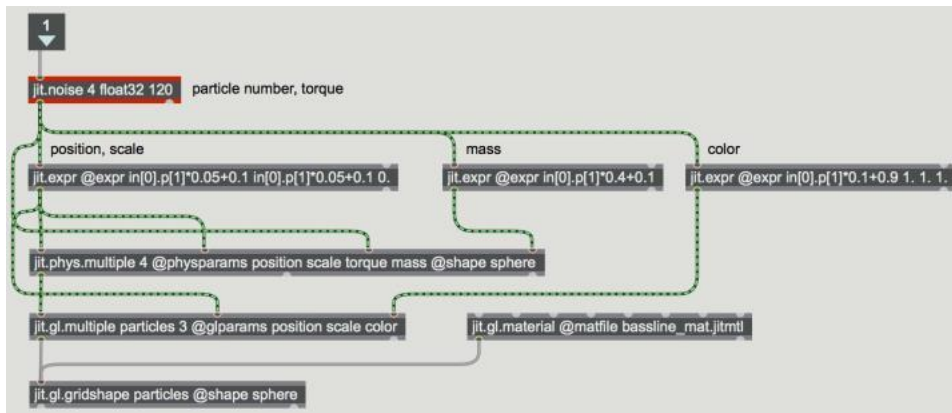


[그림-14] 물리 세계 설정 패치

[그림-14]는 가상 물리 세계를 설정하는 패치 화면이다. 먼저 Jitter에서 물리 엔진을 사용하기 위해 OpenGL Renderer인 `jit.gl.render`에

가상공간 정보를 입력한 `jit.phys.world`를 연결한다. 본 영상 시스템은 가로 7.2, 세로 4 크기의 가상공간을 설정하였다. 무중력 상태를 설정하기 위해 중력의 값은 0으로 설정하였으며, 2차원 공간을 표현하기 위해 z 축 플레인(plane)은 삭제하였다. 가상공간 내에서의 파티클 움직임은 `jit.gl.render`에서 렌더링 과정을 거쳐 `jit.window`를 통해 컴퓨터 화면으로 보이게 된다.

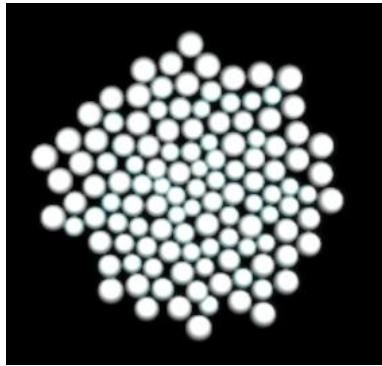
② 파티클 설정



[그림-15] 파티클 설정 패치

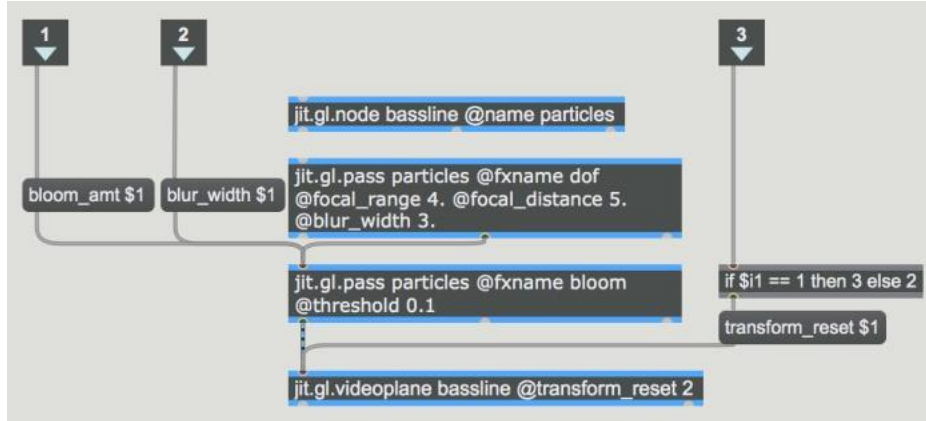
[그림-15]는 파티클을 생성하는 패치 화면이다. 가장 상단에 있는 `jit.noise`는 뱅 메시지를 받으면 120개의 0부터 1사이 소수 데이터를 랜덤으로 만든다. 각 데이터는 파티클의 성격을 지정하는 데 사용되는데, 랜덤 데이터를 그대로 사용할 경우 파티클의 성격의 편차가 너무 크게 된다. 아래 연결된 세 개의 `jit.expr`은 이를 방지하기 위해 지정된 수

석으로 랜덤 데이터의 범위를 조정한다. `jit.phys.multiple`과 `jit.gl.multiple`은 120개 파티클의 위치(position), 크기(scale), 무게(mass), 색깔(color), 토크(torque) 정보를 한 번에 생성하는 역할을 한다. 가장 아래 있는 `jit.gl.gridshape`가 이 데이터를 받으면 각 데이터에 맞는 파티클을 생성한다. 여기에 연결된 `jit.gl.material`은 파티클 표면 정보를 설정하는 역할을 한다. 완성된 파티클의 모양은 [그림-16]과 같다.



[그림-16] 생성된 파티클 화면

본 영상 시스템은 생성된 파티클을 그대로 사용하지 않고 블러(blur) 처리한 후 사용한다. 파티클은 곡예사의 위치로 끌어당겨지는데 이때 파티클이 [그림-16]의 모양이면 논리적 모순이 발생하기 때문이다. 파티클이 서로 튕겨내는 상황에서 애초에 물리적으로 겹칠 수 없는 곡예사와 파티클이 같은 평면 위치에 놓이게 되면 시각적으로 부자연스럽게 된다.



[그림-17] 파티클 블러 처리 패치

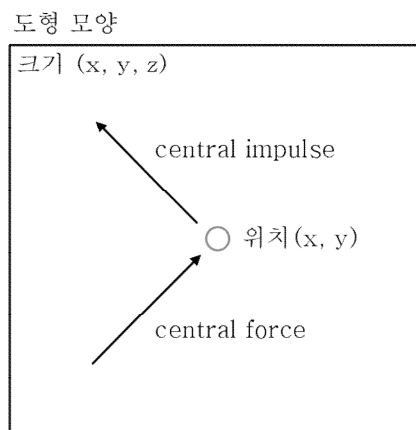
[그림-17]은 파티클에 블러 효과를 주는 패치 화면이다. 우선 블러 효과를 모든 파티클에 동일하게 주기 위해 `jit.gl.node`로 전체 파티클을 하나의 계층으로 묶는다. 이후 두 개의 `jit.gl.pass` 오브젝트는 상위 파티클 계층에 셰이더 프로세스(shader process)²⁴를 가한다. 본 영상 시스템에서는 `bloom_amt`, `blur_width` 메시지를 사용해 블러 효과를 조정한다. 이후 데이터는 아래의 `jit.gl.videoplane`을 통해 `jit.gl.render`로 전달된다. 블러 처리가 적용된 파티클 모양은 [그림-18]과 같다. 이때는 파티클이 연기 같은 형태를 띠기 때문에 파티클이 곡예사랑 겹쳐도 이질적이지 않다.

24) 3D 그래픽스에서 물체의 질감 부분에 여러 가지 특성과 기능을 관리하고 제어하는 과정을 말함



[그림-18] 블러 처리된 파티클 모양

③ 힘 설정

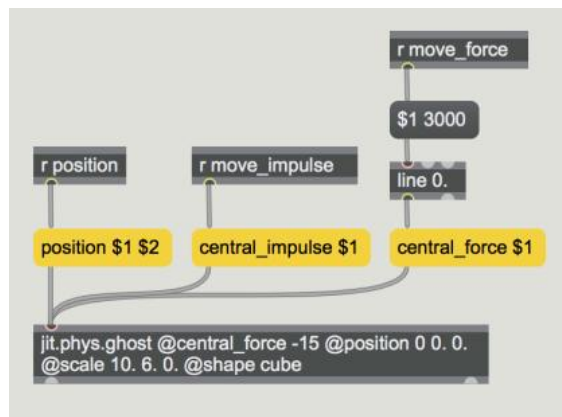


[그림-19] 힘 설계도

[그림-19]는 영상 시스템의 힘 설계도다. 물리 엔진에서는 힘을 모양

(shape), 크기(scale), 위치(position)를 가진 도형의 개념으로 만든다. 본 시스템에서는 기본적으로 힘의 모양(shape)은 물리 세계의 형태와 동일한 사각형으로 설정해 힘의 영향을 받지 않는 공간이 생기지 않도록 했다. 이후 힘의 크기(scale)와 위치(position)가 정해지면 힘이 생성된다.

파티클의 위치가 힘의 내부 있을 때 힘의 영향을 받는다. 파티클이 받는 힘의 종류는 force와 impulse 두 가지다. force는 중력과 같이 지속적으로 작용하는 힘인 반면, impulse는 일회적인 충격을 말한다. 본 영상 시스템에서는 힘의 요소 중 위치와 세기만 변수로 설정했고, 나머지는 고정 값을 사용했다.



[그림-20] 힘 설계 패치

[그림-20]은 힘을 설계한 패치 화면이다. jit.phys.ghost는 어트리뷰트로 힘의 크기, 위치, 형태, 세기 정보를 설정하면 힘을 생성한다. 그림의 경우는 힘의 모양은 사각형, 크기는 가로 10, 세로 6, 위치는 화면의 중앙, 마지막으로 힘은 15의 세기로 파티클을 끌어당기는 것으로 설정되었다.

실시간으로 힘을 제어하는 부분은 힘의 위치와, impulse, force의 세기다. 힘의 위치는 모션 트래킹 데이터 인터페이스를 통해 실시간으로 변경된다. receive position로 곡예사의 위치 데이터가 들어오면 position 메시지의 두 변수 \$1, \$2가 이 데이터로 변경되어 jit.gl.ghost의 위치를 변경한다.

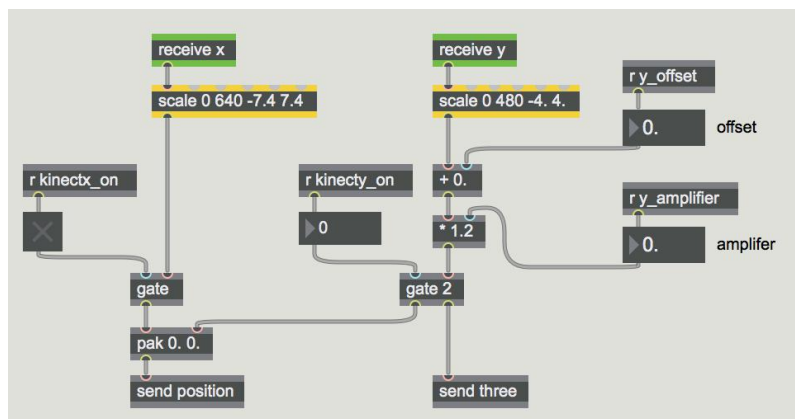
receive move_impulse는 리듬 악기의 음량 데이터를 받아들인다. 악기의 음량 데이터는 central_impulse의 변수 \$1에 입력된다. 데이터가 양수일 경우 jit.gl.ghost에 모여 있는 파티클은 데이터의 절댓값의 크기만큼 밀려나간다.

central_force 메시지는 jit.gl.ghost이 파티클을 잡아당기는 세기를 변경할 때 사용한다. 변수 \$1 가 양수일 경우는 중심 바깥 방향으로 물체를 밀어내고, 음수일 경우는 중심 방향으로 끌어당긴다. 변수의 절댓값이 클수록 강한 힘을 발휘한다. central_force의 변수는 실시간으로 변경하지 않고 때에 따라 고정 값을 입력해 사용한다.

④ 모션 트래킹 인터페이스 데이터 매핑

[그림-21]은 줄타기 모션 트래킹 인터페이스의 데이터를 영상 시스템에 맞게 매핑하는 패치 화면이다. 모션 트래킹 데이터는 두 개의 receive를 통해 비디오 시스템에 전달된다. 이 데이터는 가로 0부터 640, 세로 0부터 480의 사이의 값으로 표현하기 때문에 물리 세계에 쓰기에 알맞지 않다. 우선 데이터 매핑을 통해 이를 물리 세계에 적합하게 변경시켜야 한다. receive에 연결된 scale은 인풋 데이터를 지정된 범

위에 맞게 변환하는 역할을 한다. 여기서 scale은 데이터를 물리 세계에 크기인 가로축 -7.4부터 7.4, 세로축 -4.0부터 4.0의 데이터로 변환시킨다.



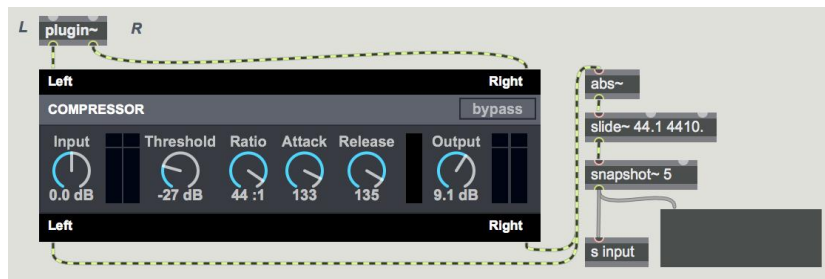
[그림-21] 줄타기 모션 트래킹 인터페이스 데이터 매핑 패치

모션 트래킹 데이터는 예술적 표현 의도에 따라 변형해 사용할 수 있다. 예를 들어, `jit.phys.ghost`를 곡예사의 위치로 설정하고 `central_force`에 음수를 지정해 파티클을 끌어당기는 상황을 가정하자. 곡예사가 점프할 때마다 파티클이 그 위치로 몰려들 것이다. 그러나 이는 움직임을 시각적으로 재현하는 수준일 뿐 동작이 주는 인상을 강화시키지는 못한다. 영상은 실제 동작보다 과장될 때 더 효과적인 예술적 표현이 가능하다. 이것이 줄타기를 위한 시스템에서 세로축 데이터가 가공되어야 하는 이유다. `+`, `*` 두 오브젝트는 곡예사의 세로축 위치를 보정하거나 더 과장시킨다. 먼저 `+`는 데이터에 지정된 숫자를 데이터의 범위를 이동시킨다. 다음 `*`는 데이터에 지정된 숫자를 곱해 데이터의 범위를 실제 움직임보다 더 넓은 폭으로 변형시킨다.

⑤ envelope following 데이터 사용

음악은 물리 세계에서 힘을 제어하는 또 다른 요소다. 그중에서도 음량은 소리의 에너지를 직관적으로 나타내기 때문에 소리의 시각화에서 대표적으로 사용되는 요소다. 본 시스템은 줄타기에서 사용되는 리듬 악기를 위한 음량(amplitude) 분석 패치를 제작했다. 도출된 데이터는 파티클을 퍼뜨리는데 사용됐다.

인간은 음량을 소리의 평균적인 세기로 직감하지만, 컴퓨터는 음량을 샘플(sample) 단위로 측정한다. 때문에 오디오 신호의 음량 개념은 인간이 일반적으로 생각하는 그것과 다르다. 오디오 신호의 음량을 가공 없이 사용할 경우 소리의 시각화의 작관성이 떨어지게 된다. 따라서 직관적인 프로세스를 위해서는 적합한 프로세스를 통해 측정된 음량을 인간이 감지하는 형태로 변형시켜야 한다.²⁵⁾ 컴퓨터 음악에서는 이러한 테크닉을 envelope following이라 한다.²⁶⁾ 제작된 패치는 아래 [그림-22]와 같다.



[그림-22] envelope following 패치

25) Dynamics Tutorial 1: Envelope Following,

https://docs.cycling74.com/max7/tutorials/09_dynamicschapter01, 2015. 12. 05 검색

26) Envelope following, <http://msp.ucsd.edu/techniques/v0.11/book-html/node153.html>, 2015. 12. 05 검색

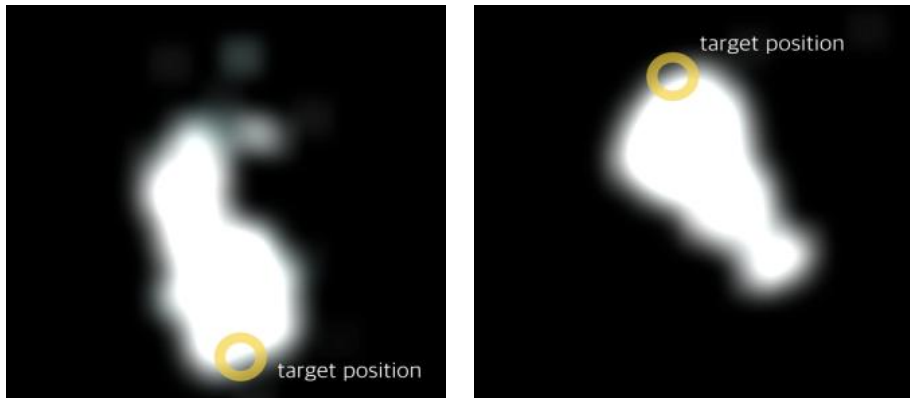
plugin~으로 들어온 리듬 악기의 신호는 먼저 컴프레서를 통해 분석하기에 알맞은 음량으로 보정된다. 다음 abs~는 -1부터 1사이의 소수인 MSP의 오디오 신호를 절댓값으로 변경해 데이터를 모두 양수로 바꾼다. 다음 연결된 slide~는 들어온 데이터를 대수적으로(logarithmically)로 변형시킨다. 이때 오디오 신호의 형태(envelope)가 부드럽게 변하고, 인간이 감지하는 음량과 유사한 상태가 된다. snapshot~은 MSP 오디오 신호를 Max 데이터로 변경한다. 완성된 데이터는 send를 통해 jit.phys.ghost에 연결된 central_impulse로 전달된다.

2) 적용 효과

비디오 시스템은 곡예사의 움직임과 리듬 악기의 음량이 물리 공간에 생성된 파티클을 제어하도록 제작되었다. 먼저 곡예사의 움직임은 모션 트래킹 인터페이스로 분석되어 비디오 시스템에서 힘을 제어하는 jit.phys.ghost의 central_force 메시지에 사용되었다. 이때 파티클은 곡예사가 움직일 때마다 그 위치로 모이게 된다. 다음으로 리듬 악기의 음량은 jit.phys.ghost의 central_impulse 메시지에 사용된다. central_impulse 메시지는 곡예사에게 몰려 있는 파티클을 사방으로 퍼뜨리는 역할을 한다. 리듬 악기를 세게 칠수록 힘의 중심점으로 부터 멀리 퍼지게 된다. 파티클은 일정 시간이 지나면 다시 끌어당기는 힘에 의해 중심점으로 모인다.

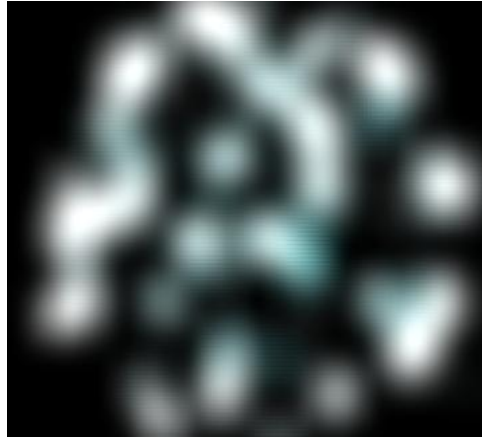
[그림-23]은 모션 트래킹 인터페이스의 데이터를 활용해 파티클이 트래킹 타겟의 위치로 모이는 화면이다. 120개의 파티클은 각각 다른 무게

를 가지고 있기 때문에 중심으로 모이는 시간이 다르다. 가벼운 파티클은 빨리 당겨지고 무거운 파티클은 그보다 오랜 시간이 걸리는 것이다. 이때 곡예사로 당겨지는 파티클은 곡예사의 움직임의 잔상이나 그림자 같은 모양이 된다. [그림-23]을 보면 모션 트래킹 타겟이 최저점이나 최고점에 있을 때 파티클의 무게 차이로 인해 그림자 효과가 생긴 것을 볼 수 있다.



[그림-23] 파티클의 그림자 효과

리듬 악기의 음량은 파티클을 중심으로 퍼뜨리는 힘에 사용된다. 이 때 파티클이 퍼지는 정도는 리듬 악기를 치는 힘에 비례하기 때문에 관객이 직관적으로 소리의 시각화를 느낄 수 있다. [그림-24]는 리듬 악기를 강하게 쳤을 때의 파티클 화면이다.



[그림-24] 터지는 모양의 파티클

파티클이 중심점으로부터 멀리 퍼진 것을 볼 수 있다. 리듬 악기 연주로 인해 중심점으로 떨어져 나간 파티클은 일정 시간이 지나면 중심점으로 끌어당기는 힘에 의해 다시 제자리도 돌아오게 된다.

Ⅲ. 연구 기술의 작품 적용

본 연구에서 개발한 줄타기를 위한 멀티미디어 시스템은 2015년 11월 13일 한국멀티미디어학회 공연 중 <Bassline>이란 작품에 적용되었다. 줄타기는 슬랙라이닝을 선택했고, 사운드 시스템이 사용될 악기는 시스템 제작 시 사용했던 콘트라베이스를 그대로 사용했다. 음악 이펙터는 본 연구에서 제작한 사운드 시스템 외에 그레놀러(granular) 소리 합성과, 콤필터(comb filter) 이펙터 등이 쓰였다. 리듬 악기는 크기가 다른 전통 북 두 개를 사용했다.



[그림-25] 작품 이미지

1. 작품 소개

작품 <Bassline>은 움직임의 미학을 표현한다. 작품에 세 요소인 줄타기, 음악, 영상은 모두 그 미학적 근원을 움직임에 둔다. 줄타기는 말할 것도 없거니와 음악은 피치와 리듬이 끊임없이 변하는 것으로 단순한 소

리와 구분되고, 영상은 이미지를 계속 다른 것으로 계속 대체시킴으로써 사진 또는 그림과 다른 지위를 획득한다. 본 작품은 이 세 요소가 서로에게 영향을 줌으로써 각 분야의 개별적인 변화를 큰 하나의 움직임으로 승화시킨다.

<Bassline>의 곡의 형태는 재즈의 즉흥 연주 형식을 차용했다. 재즈의 즉흥 연주(improvisation)는 전체 악기의 유기적인 조화 속에 각 악기의 창의성이 발휘된다. 재즈에서는 한 악기가 주도적으로 멜로디를 진행하면 나머지 악기는 그 악기에 보조를 맞추므로써 그 움직임을 최소화한다. 그리고 한 악기의 주도가 끝나면 다른 악기가 차례를 이어받아 곡을 이끌어 나간다. 재즈가 즉흥 연주를 통해 하나의 곡을 완성할 수 있는 것이 이 때문이다. 이렇게 전체의 조화를 담보로 한 재즈의 즉흥 연주는 본 작품의 세 요소의 즉흥성과 인터랙션에 그 맥을 같이 한다.

본 작품의 목적은 긴장과 조화 속에서 줄타기의 예술적 가능성을 확장시키는 것이다. 곡예사의 움직임은 그 자체로도 긴장과 쾌락을 주지만, 본 연구에서 개발한 시스템의 힘을 빌려 음악과 영상으로까지 그 영역을 확장한다. 악기 소리는 곡예사의 움직임과 같이 변화하며 영상은 그 움직임을 더욱 강화시킨다. 때로는 악기의 다이내믹스가 영상을 제어하기도 한다. 작품 내부의 세 요소는 계속 변화하지만 균형을 깨뜨리지는 않는다.

2. 작품 구성

작품은 <표-3>처럼 크게 A-B-A'로 구성된다. 음악과 줄타기는 즉흥

으로 이뤄지기 때문에 구간별 시간은 변동될 수 있다. 첫 번째 A 구간에서는 균형 잡기 중심의 기예를 선보인다. 이 구간에서는 곡예사가 최소한의 움직임은 선보이지만, 줄의 떨림으로 강한 긴장감을 준다. 악기 연주는 음악의 모티브를 중심으로 연주해 곡의 주제를 제시한다. 콘트라베이스는 보잉 주법으로 긴 호흡을 두고 연주한다. 영상은 암흑 속에서 파티클이 나타나는 것으로 시작해 점차 큰 움직임으로 운동감을 더한다. 이때 본 연구에서 제작한 이펙터를 통해 비브라토 효과도 점차 강하게 적용된다.

<표-3> 작품 구성

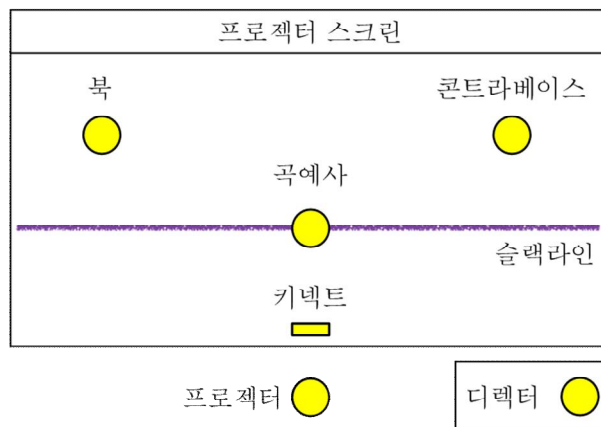
구 성	A 파트	B 파트	A' 파트
시 간	00:00~03:40	03:40~05:15	05:15~07:00
줄타기 기예	균형 잡기 중심	-	점프 중심
연 주	보잉 (긴장감)	피치카토 (리듬감)	보잉 (긴장감, 절정)
영상 시스템	작은 움직임 → 큰 움직임	패턴 중심	큰 움직임
사운드 시스템	약한 비브라토 → 강한 비브라토	-	강한 비브라토 → 약한 비브라토

B 파트는 A 파트의 하이라이트가 끝난 후 시작된다. 이때 곡예사는 무대 뒤로 빠지며 콘트라베이스와 북 연주자의 즉흥연주가 시작된다. 콘트라베이스는 피치카토 주법 위주로 연주된다. 피치카토 주법은 A 파트의 동적인 이미지를 음악적으로 연장하며 동시에 다음에 시작할 줄타기를 강한 운동감을 환기한다. 북도 이전보다 강한 리듬감을 두고 연주한

다. 영상 파티클은 사라졌다가 다른 패턴으로 등장해 무대 이미지를 가로로 넓게 확장한다. 이는 무대 양 연주자를 시각적으로 연결하고 관객에게 수평 이미지를 각인시켜 다음 줄타기를 더 격렬히 느끼도록 돕는다.

마지막 A' 파트는 곡예사가 다시 등장하는 것으로 시작한다. 곡예사는 B 파트의 음악적 움직임을 이어받아 격렬한 기예를 선보인다. 사운드 시스템의 강한 비브라토와 함께 이를 다른 음악 이펙터가 보조한다. 악기 연주도 긴장감을 절정에 달하도록 하고, 이때 베이스는 다시 보잉 주법으로 긴 호흡을 유지한다. 영상 시스템은 기예에 따라 파티클을 크게 움직이게 하고 이때는 드럼의 다이내믹스도 가세해 파티클이 터지는 효과도 준다. 곡예사가 마지막 기예로 줄에서 내려오면 베이스 연주자가 모티브를 다시 연주하는 것으로 작품이 끝난다.

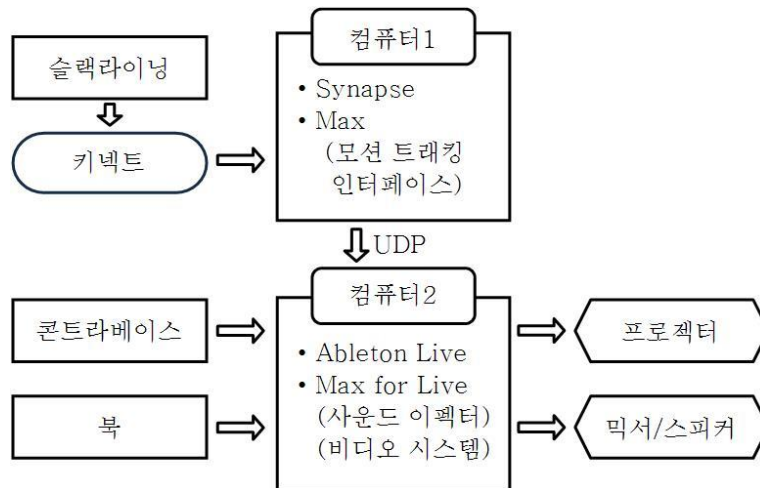
1) 무대 구성



[그림-26] 무대 구성

무대 구성은 [그림-26]과 같다. 무대 중앙에 슬랙라인을 설치하고 줄 가운데서 곡예사가 위치한다. 키넥트는 곡예사 앞쪽에 설치되어 곡예사의 움직임을 트래킹 한다. 북과 콘트라베이스는 무대 뒤쪽 좌우 양옆에 위치해 곡예사와 역삼각형 모양을 이룬다. 디렉터는 무대 밖에서 공연의 전체 음향, 사운드 이펙터, 비디오 시스템을 제어한다. 디렉터가 내보내는 영상은 프로젝터를 통해 무대 뒤편에 투사된다.

2) 시스템 구성



[그림-27] 시스템 구성

작품 공연 당시는 키넥트와 디렉터 사이의 거리가 멀어 두 대의 컴퓨터를 사용해 UDP 통신했다. 첫 번째 컴퓨터는 키넥트를 연결해 모션 트래킹 인터페이스 역할을 한다. 키넥트 정보는 먼저 컴퓨터에 설치된

Synapse 애플리케이션에서 Max 데이터로 변경된다. 이후 Max의 모션 트래킹 인터페이스가 곡예사의 움직임 데이터를 UDP 통신을 통해 두 번째 컴퓨터로 전달한다.

두 번째 컴퓨터는 콘트라베이스와 북의 오디오 신호를 시퀀서 Ableton Live로 받고, Max for Live를 활용해 사운드 이펙터와 비디오 시스템을 가동한다. 이때 사운드 이펙터와 비디오 시스템은 실시간으로 수신하는 모션 트래킹 데이터를 통해 제어된다. 프로세스를 거친 오디오·영상 신호는 프로젝터와 스피커로 각각 전송된다.

3. 연구 기술 효과

본 연구에서 제작한 시스템은 음악과 영상 두 분야에서 주목할 만한 성과가 있었다. 먼저 음악 분야에서는 줄타기 기예와 악기가 서로의 단점을 보완할 수 있었다. 줄타기는 관객이 가까이 있을 때 곡예사의 미묘한 움직임을 감지할 수 있으나 큰 공연장에서는 그 동작을 감지하기 어려웠다. 그러나 본 연구의 사운드 이펙터는 미묘한 동작이라도 이를 음악적으로 표현해 모든 관객이 곡예사의 움직임을 느낄 수 있게 했다. 악기의 경우는 음역 확장을 통해 기존에 표현할 수 없었던 감정을 표현할 수 있었다. 작품에 사용된 콘트라베이스는 음역의 한계가 명확했지만 사운드 이펙터를 통해 모든 음역의 소리를 낼 수 있었다.

영상 분야는 소리와 움직임의 시각화(visualize)를 통해 슬라이딩 공연의 예술성을 높였다. 자칫 작게 느껴질 수도 있는 줄타기 동작은 파티클의 큰 움직임으로 동적인 이미지가 강화됐다. 또한, 파티클은 소리의

시각화 기법을 통해 악기 소리도 영상에 영역에 포함함으로써 줄타기의 각 요소가 하나로 어우러지는 효과를 냈다.

1) A 파트 적용 효과

A 파트에서는 콘트라베이스가 보잉 주법으로 곡의 모티브를 연주하는 파트다. 이때는 곡의 시작과 함께 딜레이가 결합된 콤팩트 이펙터를 사용했다. 콤팩트 이펙터는 본 연구에서 개발한 사운드 이펙터가 적용되기 전에 악기 소리의 중고음역 부분에 미묘한 변화를 줌으로써 관객이 자연스럽게 비브라토 효과를 받아들일 수 있게 했다.



[그림-28] 북 소리가 작을 때 파티클 모양(A 파트)

이때 영상 시스템은 북의 다이내믹스를 시각화함으로써 다소 정적인 작품 흐름을 보완했다. 이때 북의 세기에 따라 파티클이 퍼지는 정도가 달라져 관객은 북의 에너지를 시각적으로도 느낄 수 있었다. 파티클은

북의 볼륨이 작을 때는 [그림-28]처럼 무대 중앙 쪽으로 모여 천천히 회전하지만, 북 연주자가 북을 강하게 치면 [그림-29]처럼 중앙에서 멀리 밀려난다.



[그림-29] 북을 강하게 쳤을 때 파티클 모양(A 파트)

베이스 연주자가 곡의 모티브를 제시하고 나면 줄타기 곡예사가 줄을 타기 시작한다. 이때부터 제작된 사운드 이펙터가 모션 트래킹 인터페이스의 데이터를 받아 작동한다. 사운드 이펙터는 줄 위를 아슬아슬하게 걷는 곡예사의 무게중심에 반응한다. 베이스 소리의 피치 시프트는 위아래로 곡예사가 크게 움직일수록 폭넓은 비브라토 효과를 내게 된다. 실제 공연장에서는 멀리 있는 관객도 소리의 변화를 통해 곡예사의 작은 움직임을 느낄 수 있었다. 특히, 그 소리의 변화가 고음역에 일어났기 때문에 줄타기가 주는 긴장감을 배가 되었다.

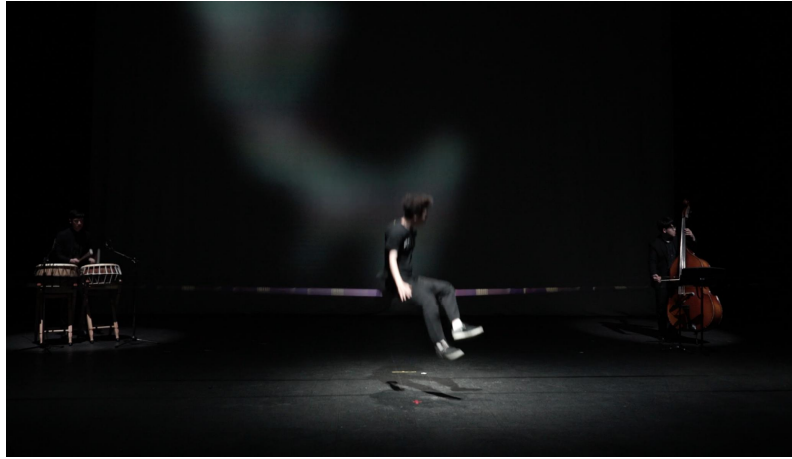
영상 시스템은 곡예사가 줄 중앙에서 묘기를 선보일 때 파티클이 곡예사의 위치로 모이도록 설정되었다. 이때는 흰색 파티클이 검정 배경과 강한 대비를 일으킴으로써 관객이 곡예사에게 강한 집중을 하게 만든다.

[그림-30]은 공연 중 파티클이 곡예사에게 물려 있는 화면이다. 파티클이 핀 조명과 조합되어 핀 조명만으로 줄 수 없는 몰입감을 발생시키는 것을 볼 수 있다.



[그림-30] 곡예사에게 모여 있는 파티클 모양(A 파트)

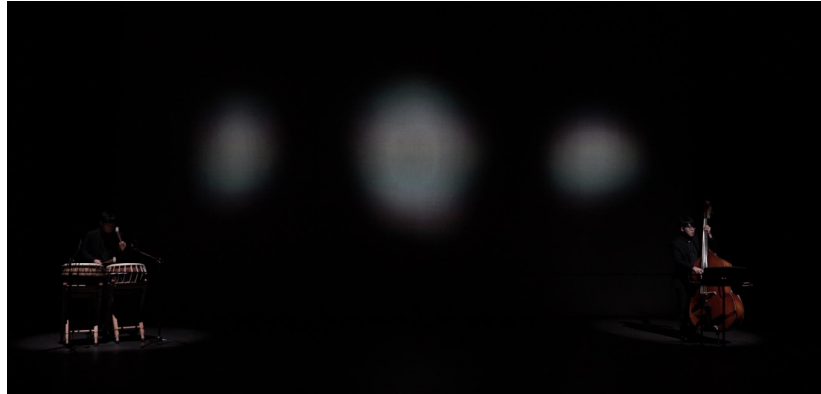
또한, 곡예사를 따라다니는 파티클은 줄타기 동작을 본래보다 더 역동적으로 보이게 만드는 효과가 있었다. 본 연구에서 제작한 시스템은 곡예사의 위치 데이터를 변형시켜 파티클을 실제 곡예사의 움직임보다 넓고 빠르게 움직이도록 한다. [그림-31]은 공연 중 곡예사가 점프 후 내려오는 화면이다. 파티클이 실제 점프 가능한 높이보다 더 높은 곳에서 내려오고 있는 것을 볼 수 있다. 이때 파티클은 곡예사의 움직임을 과장시켜 줄타기의 역동성을 한층 강화한 효과가 있었다.



[그림-31] 곡예사가 점프 후 내려오는 장면(A 파트)

2) B 파트 적용 효과

B 파트에서는 곡예사가 잠시 퇴장하고 북과 베이스의 즉흥 연주가 시작된다. 이때 베이스 주자는 피치카토 주법으로 콘트라베이스를 연주한다. 이 파트에서 음향 효과는 그레놀러 소리 합성을 사용했다. 그레놀러 소리 합성은 인풋 소리를 아주 짧은 소리의 조각으로 나누어 여기에 필요할 경우 피치 시프트를 적용해 내보내는 효과를 말한다. 공연에서는 그레놀러 소리 합성이 짧게 끊어 치는 피치카토 주법과 어울려 이전 파트의 역동성을 보존하는 효과를 냈다.



[그림-32] 세 부분으로 나누어진 파티클(B 파트)

B 파트에서 영상 시스템은 세 개의 `jit.phys.ghost`를 사용해 파티클을 세 부분으로 나눴다. 이때 파티클의 모습은 [그림-32]와 같다. 나뉜 파티클은 곡예사가 빠진 빈자리를 시각적으로 메워주는 동시에 무대의 횡적 이미지를 강화했다. 안정된 횡적 이미지는 다음 C 파트에서 이어질 곡예사의 기예를 더욱 극적으로 보이게 했다.

3) A' 파트 적용 효과

마지막 A' 파트에서는 곡예사가 다시 무대로 돌아오고 베이스 주자가 보잉 주법을 사용해 곡을 연주한다. 이때 곡예사는 지금껏 가장 고난도의 슬랙라이닝 묘기를 선보이고 북과 베이스 주자도 곡의 절정을 향해 격정적으로 연주한다.

음향 효과는 개발한 실시간 피치 시프트 이펙터와 그레놀러 소리 합성 기법을 동시에 사용했다. 먼저 그레놀러 소리는 본래 베이스 소리와 합

쳐져 곡의 풍부함과 음량을 높이는 효과를 냈다. 여기에 피치 시프트 이펙터는 곡예사의 격렬한 움직임을 사운드로 재현해 곡의 역동성을 최고조로 올렸다.

영상 시스템은 B 파트에서 세 부분으로 나뉜 파티클을 그대로 사용했다. 이때는 파티클을 제어하는 세 개의 `jit.phys.ghost`의 높이를 곡예사의 높이에 따라 변화도록 설정했다. 이때 잠시 퇴장했던 곡예사가 다시 들어와 줄 위에 오르면 세 무리의 파티클도 [그림-33]과 같이 움직인다. 이는 이전 파트에서 만들었던 정적인 횡적 이미지를 변화시켜 지금까지 최고의 역동성을 만들어냈다.



[그림-33] 세 부분으로 나뉘어 움직이는 파티클(C 파트)

IV. 결 론

본 연구는 줄타기의 새로운 가능성을 발굴하고 고유의 예술적 미학을 확장하고자 줄타기 멀티미디어 시스템을 제작했다. 제작된 시스템은 모션 트래킹, 사운드, 영상 세 분야로 구성된다. 각 분야의 시스템은 독립적이면서 유기적으로 작동한다. 같은 곡예사의 움직임은 다른 방식의 데이터 매핑을 통해 음악과 영상 분야에서 서로 다르게 사용된다.

줄타기 모션 트래킹 인터페이스는 곡예사의 움직임을 감지해 그 위치를 알아내는 시스템이다. 본 시스템은 줄타기의 미학적 핵심 요소를 무게 중심의 이동으로 보고 그 근사치를 알아내기 위해 제작됐다. 이를 위해 키넥트의 깊이 정보를 필터링하고 남은 데이터의 중심을 찾는 기법이 사용된다. 완성된 데이터는 사운드, 영상 시스템에서 각기 독립적으로 사용된다.

사운드 이펙터는 곡예사의 무게 중심 변화를 음악적 비브라토로 표현한다. 피치 시프트는 FFT 기법을 활용해 특정 배음부터 적용된다. 이는 예술적 의도뿐 아니라 위상 문제, 불협화음을 방지하기 위해서다. 사운드 이펙터는 모션 트래킹 데이터를 받아 곡예사가 움직이는 대로 작동한다. 움직임이 작은 동작에서는 미묘한 비브라토를, 격렬한 기예에서는 넓은 폭의 피치 변화를 구현함으로써 움직임을 음악적으로 표현한다.

영상 시스템은 물리 엔진을 기반으로 음악과 모션 트래킹 데이터를 받아 이를 시각적으로 표현한다. 가상의 물리 세계를 구성하는 것은 파티클과 힘이다. 힘의 위치와 세기가 모션 트래킹 데이터와 악기 다이내믹스에 따라 변해 파티클의 움직임을 제어한다. 이때 파티클은 움직임의 잔상이 되기도 하고, 음악적 에너지를 표현하기도 한다.

본 연구에서는 줄타기로 슬랙라이닝을 선택했지만 개발된 시스템은 전통 줄타기 및 그 외 다른 형식의 줄타기에도 사용할 수 있다. 그때 추가로 연구되어야 하는 것은 줄타기 기예의 트래킹 방식이다. 본 연구에서 사용한 슬랙라이닝만 하더라도 수십 개의 기예가 있었다. 만약 기예를 고려하지 않아 모션 트래킹 인터페이스를 잘못 설계한다면 작품의 완성도가 크게 떨어질 것이 분명하다. 여러 종류의 줄타기에 맞게 본 연구 결과가 응용되어 줄타기를 활용한 다양한 멀티미디어 작품이 선보이길 기대한다.

Keyword(검색어)

멀티미디어음악(multimedia music), 컴퓨터 음악(computer music), 키넥트(Kinect), 소리의 시각화(sound visualization), 슬랙라이닝(Slacklining), 슬랙라인(Slankline), 모션 트래킹(motion tracking)

E-mail: geanaquell@gmail.com

참 고 문 헌

1. 단행본

이호승. "한국 줄타기의 역사와 연행 양상." 공연문화연구 14.단일호 (2007): 387-426.

Curtis Roads. The computer music tutorial. MIT press, 1996.

Dodge, Charles, and Thomas A. Jerse. Computer Music: synthesis, composition and performance. Macmillan Library Reference, 1997.

Hartley, Richard, and Andrew Zisserman. Multiple view geometry in computer vision. Cambridge university press, 2003, page 11

Rowe, Robert. Interactive music systems: machine listening and composing. MIT press, 1992.

2. 참고논문

Preece, Jenny, et al. Human-computer interaction. Addison-Wesley Longman Ltd., 1994.

Watson, Richard. A survey of gesture recognition techniques. Trinity College Dublin, Department of Computer Science, 1993.

Zimmerman, Thomas G., et al. "A hand gesture interface device." ACM SIGCHI Bulletin. Vol. 18. No. 4. ACM, 1987.

- Roetenberg, Daniel, Henk Luinge, and Per Slycke. "Xsens MVN: full 6DOF human motion tracking using miniature inertial sensors." Xsens Motion Technologies BV, Tech. Rep (2009).
- Rasmussen, Christopher, Kentaro Toyama, and Gregory D. Hager. "Tracking objects by color alone." DCS RR-1114, Yale University (1996).
- Bradski, Gary R. "Real time face and object tracking as a component of a perceptual user interface." Applications of Computer Vision, 1998. WACV'98. Proceedings., Fourth IEEE Workshop on. IEEE, 1998.
- Kehl, Roland, Matthieu Bray, and Luc Van Gool. "Full body tracking from multiple views using stochastic sampling." Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on. Vol. 2. IEEE, 2005.
- Xia, Lu, Chia-Chih Chen, and Jake K. Aggarwal. "Human detection using depth information by Kinect." Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2011 IEEE Computer Society Conference on. IEEE, 2011.
- Oikonomidis, Iason, Nikolaos Kyriazis, and Antonis A. Argyros. "Efficient model-based 3D tracking of hand articulations using Kinect." BMVC. Vol. 1. No. 2. 2011.
- Kehl, Roland, Matthieu Bray, and Luc Van Gool. "Full body tracking from multiple views using stochastic sampling." Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE

Computer Society Conference on. Vol. 2. IEEE, 2005.

Alexiadis, Dimitrios S., et al. "Evaluating a dancer's performance using kinect-based skeleton tracking." Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia. ACM, 2011.

Marquardt, Zoe, et al. "Super Mirror: a Kinect interface for ballet dancers." CHI'12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2012.

3. 웹사이트

Box Office Mojo:

<http://www.boxofficemojo.com/movies/?page=main&id=clouds2015.htm>, 2015. 12. 2 검색

World Slackline Federation, <http://www.wsfed.com/contest-schedule/>, 2015. 12. 2 검색

MSP Analysis Tutorial 4: Signal Processing with pfft~,

https://docs.cycling74.com/max7/tutorials/14_analysischapter04, 2015. 12. 5 검색

Dynamics Tutorial 1: Envelope Following,

https://docs.cycling74.com/max7/tutorials/09_dynamicschapter01, 2015. 12. 05 검색

Envelope following,

<http://msp.ucsd.edu/techniques/v0.11/book-html/node153.html>, 2015. 12. 05 검색

ABSTRACT

Interactive Multimedia System controlled by Slacklining (with focus on Multimedia Music <Bassline>)

Kim, Jinwoong

This study invented an interactive multimedia system controlled by Slacklining. Slacklining is an act of balance, walk, and jumping on webbing called Slackline tensioned between two anchor points. This system consists of three parts, motion tracking interface, sound effector, and video system.

There has been various motion tracking strategies already such as color tracking, face tracking, full body tracking and so forth. However, these strategies are not suitable for Slacklining. This is because an acrobat keeps changing his or her posture when performing Slacklining. In this situation a tracking algorithm used for motion tracking could easily lose its target. Thus, this study has invented a motion tracking which can keep track of an acrobat's position regardless of any posture using Microsoft Kinect.

Sound effector has been made for the instrument used during Slacklining performance. This effector uses real-time pitch shift strategy in order to give vibrato effect to the instrument. When the

sound effector receives sound signal from the instrument, it firstly detects the pitch of the fundamental note, then filters audio signal which is below a selected overtone's frequency out. After that, the effector gives pitch shift to audio signal using the data of motion tracking interface.

The video system operates based on the physics engine in order to convert physical movements of Slacklining into visual images. The system consists of particles and invisible forces which push or attract particles. The motion tracking interface data is mapped into forces' position which attracts particles so that the particles follow the acrobat. A rhythm instrument also controls the video effect by pushing particles out using its dynamics. This video system also supports envelope following in order to detect instrument dynamics.

This study has tested the effects of this interactive multimedia system by using it during a Slacklining performance. Music style of the performance was jazz improvisation between a contrabass and Korean drums. At the performance the interactive multimedia system created a synergy effect with the music style. Thanks to the system, the acrobat was able to participate in the improvisation between jazz players. In addition, sound effector and the video image also joined in the interaction so that the performance was able to give a new impression of Slacklining to the audience.

부록 (첨부 DVD 설명)

1. Bassline.mov : 2015년 11월 13일 이해랑 예술극장 <Bassline> 공연
실황