
인터랙티브 사운드 설치와 사용자 의도 분석에 관한 연구

작품 Color note 를 중심으로

A Study on Interactive Sound Installation and User Intention Analysis

Focusing on an Installation: Color note

한윤정, Yoon-jung, Han*, 한병준, Byeong-jun, Han**

요약 본 연구에서는 사용자 의도를 의도 범위(intention range)에 따라 정의하고, 이를 다양하게 변화시켜 반영한 인터랙티브 사운드 인스톨레이션을 제안한다. 사용자 의도는 요소(element), 부분(part), 전체(entire) 등의 다양한 계층 범위로 분류하여 정의되었다. 또한, 분류된 각 범위는 서로 소속/포함 관계로 정의되었다. 요소 의도를 반영하기 위해 우리는 사용자의 반응에 따라 색과 음이 인터랙티브하게 표시되는 Color note 라는 인터페이스를 제작하였다. 부분 의도를 반영하기 위해 요소 의도를 화성학 규칙으로 보정하기 위한 화성 정리 방법(HD)을 제안한다. 마지막으로 전체 의도는 요소 의도의 거시적 방향성으로써 추정된다. 추정 기법으로서 칼루엔-뢰브 변환(K-L Transform) 등과 같은 통계적 기법을 적용하였다. 제안한 인터페이스인 Color note 와 다양한 기법들의 유효성을 확인하기 위해, 전시설치가 되었고, 다양한 사용자에게 평가 설문을 시행하였다. 또한, 전체 의도를 표현하기 위해 사용된 다양한 통계적 기법의 만족도를 조사하였다.

Abstract This work defines user intention according to intention range, and also proposes an interactive sound installation which reflects and varies above features. User intention consists of several decomposition concepts, which are elemental intentions, partial intentions, and a universal intention. And also, each concept is defined as inclusion/affiliation relationship with other concepts. For the representation of elemental intention, we implemented a musical interface, Color note, which represents the colors and notes according to response of participants. We also propose Harmonic Defragmentation (HD), which arranges the partial intentions with harmonic rule. Finally, the universal intention is inferred to the comprehensive direction of elemental intentions. We used Karhunen-Loève(K-L) Transform for the inference. For verifying the validity of our proposed interface, the "Color Note," and the various techniques, we installed our work and surveyed various users for the evaluation of HD and statistical techniques. Also, we commissioned another survey to find out satisfaction measurement which was used for expressing universal intention.

핵심어: *Interactive Sound Installation, Color note, Harmonic Defragmentation, Karhunen-Loève(K-L) Transform*

본 논문은 2007년 서울대학교 BK 학술 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

*한윤정 : 서울대학교 시각디자인 대학원 e-mail: hanyoonjung@gmail.com

**한병준 : 고려대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 석사과정 e-mail: hbj1147@korea.ac.kr

1. 서론

오늘날, 소리, 시각기호, 공간 등의 경계구분이 점점 모호해지면서 많은 예술가와 디자이너, 음악가들, 과학자들은 이에 대한 다양한 시도를 하고 있다. 20 세기 들어서 이러한 실험들은 기계를 악기처럼 연주하고, 수학적인 시스템 속에서 음악을 표현함으로써 더욱더 다양해지고 있다. 기존의 전통적인 방법에 근간한 악기의 형태와 방법적인 측면에서 벗어나 소리와 인간과의 인터랙션의 새로운 연결의 발견을 통해 만들어진 악기는 최근의 미디어 아트와 인터랙션 디자인의 동향에서 많은 시도가 이루어지고 있다. 근본적인 요소들에서부터 부분의 집합, 전체로 이르는 조형적인 요소의 접근에서부터 시작한 이 연구는 현대 시대의 기술이 적용된 새로운 인터랙티브 설치작품을 제안함과 동시에 화성 정리 방법(HD)을 사용하여 사용자의 의도와 표현 욕구를 통계적 기법으로써 정리함으로써 마무리된다. 작품 결과는 심미성, 의도반영여부, 화음의 결과로 정리된다.

2. 소리와 색

2.1 소리와 색의 속성

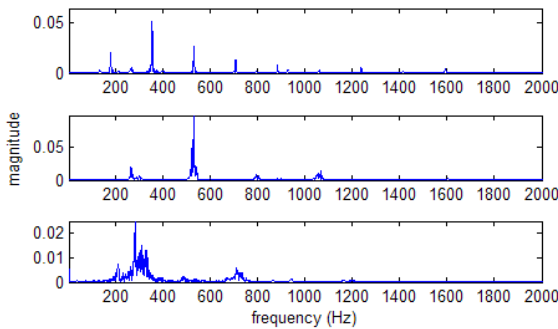


그림 1 피아노(위), 바이올린(중간), 드럼(아래)의 스펙트럼 비교

소리는 공기 속에서 일어나는 진동 현상의 하나이다. ‘소리를 낸다’는 것은 그 음원과 주위의 공기에 압력의 변화를 일으키는 것이며, 이러한 자극은 주변 공기의 밀도에 변화를 일으켜 공기의 입자들로 하여금 움직이게 하는 것이다[1].

소리를 나타내는 매개체인 악기는 음악 연구자의 성향에 따라 다양한 방법으로 분류되며, 이 중 보편적으로 받아들여지는 분류법(taxonomy)은 악기가 조화 특성을 가지는지(harmonic), 조화 특성을 가지지 않는지(non-harmonic) 여부이다. 이때, 조화 특성 여부는 그림과 같은 악기 소리 신호를 스펙트럼 분석하여 얻은 결과를 통해 관찰할 수 있다. 즉, 악기의 전체 음을 결정하는 기본주파수(F₀; fundamental frequency)의 에너지 외에, 기본주파수의 배수에 해당하는 부분에 에너지 분포가 생기는 것이 그 특징이다. 이러한 조화 특성을 가지는 대표적인 악기는 건반악기인 피아노, 현악기인 바이올린, 관악기인 플루트, 그리고 사람의 목소리 등이며, 이러한 악기의 소리로부터는 그림 1 과 같이 조화 특성을 관찰할 수 있다. 한편, 조화 특성이 없는 악기는 드럼(percussion set), 실로폰 등을 그 예로 들 수 있으며, 이러한 악기는 합동 연주, 오케스트라 등에서 비트(beats)나 분위기를 고조하는 데에 주로 사용된다.

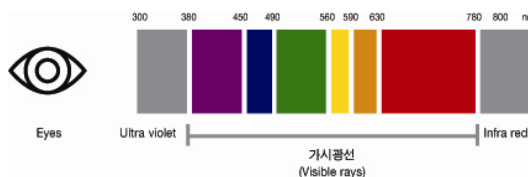


그림 2 가시광선 스펙트럼

색이란 빛의 스펙트럼(분광)의 조성차에 의해서 성질의 차가 인정되는 시각각의 특성을 일컫는다. 빛은 전자기적 진동, 즉 전자기파이며, 그 파장이 400nm(1nm=10⁻⁹m)에서 약 700nm 사이가 가시광선이다. 이 빛을 프리즘을 사용하여 각 파장으로 나누면, 파장이 짧은 쪽부터 남보라·파랑·청록·초록·연두·노랑·귤색·주황·빨강의 차례로 배열되고 이를 스펙트럼(spectrum)이라 한다. 결국, 빛의 색은 그 스펙트럼의 성질(분광조성)에 의해 결정된다. 우리가 물체에 색이 있다고 느낄 때, 이것은 빛이 물체에서 반사하거나 물체를 투과할 때 그 물체에 특유한 스펙트럼 특성에 의해 변화를 받기 때문이다.

2.2 소리와 색의 관계

2.1 장에서 본 바와 같이 소리와 색은 각각 진동과 파장에 의해서 우리의 감각기관에 의해 인지됨에 있어서 공통점을 가지고 있으며, 시청각적 인지와 새로운 매체의 표현을 불러일으키는 가장 기초적인 실마리가 됨을 알 수 있다. 음과 색은 물리적으로 공진, 증폭, 간섭, 상쇄하는 파동의 속성을 공유하고 있으므로 음악을 물리수학적으로 체계화한 화성학 원리를 이용하면 빛의 조화로운 활용에 대한 해답을 얻을 수 있다.

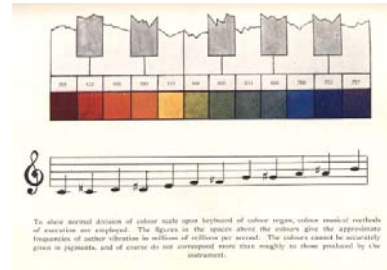


그림 3 Colour-Music: The Art of Mobile Colour (London, 1912)

Alexander Wallace Rimington은 그림 1 과 같이 각각 음의 백만 분의 1 초의 진동수를 각각의 색에 대하여 정해 놓았다. 그녀의 연구에 따르면 ‘도미솔’은 ‘빨노파’의 색을 갖고 있고, 이는 소리와 색의 파장에 의해 정해짐을 보여준다. 이렇듯, 색과 소리의 원리를 이용한 연결시도는 물리음향적 원리를 기본으로 체계화되어 현대에까지도 많은 예술 분야에서 사용되어 오고 있다.

2.3 소리와 색을 이용한 인터랙티브 커뮤니케이션



그림 4 소리와 색을 이용한 인터랙티브 커뮤니케이션

소리와 색체간의 물리적 접근을 기반으로 하여 논리적인 연관체계를 갖춘 상태에서, 사람들에게 공감각적 즐거움을 주고 또한 사람의 행동으로 인하여 자신이 직접 소리와 색을 만들고, 그것을 연주할 수 있는 사운드 인스톨레이션 작품을 제작하고자 함이 이 연구의 목표이다. 인간의 감각기관에서 비롯되는 input 을 통해 사람들의 무의식적인 행동에 대한 인지는 또 다른 결과를 예상하게끔 함으로서, 그 결과는 다시 인간의 감각기관으로 작용하게 된다. 시각과 청각의 혼합을 이용한 설치악기 혹은 인터랙티브 악보가 설치작품으로 제안됨으로써, 그 결과에 대한 분석을 하고자 한다.

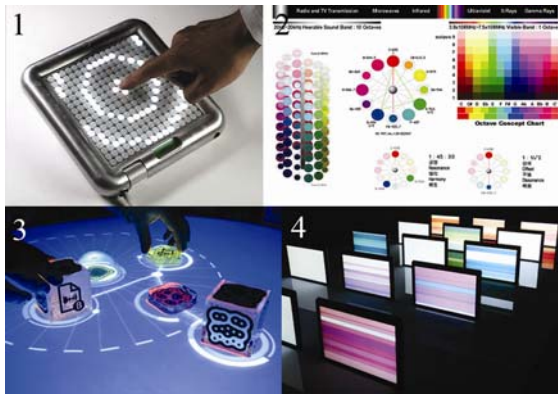


그림5 작품 별 사례연구

3. 사례연구

3.1 작품별 사례연구

3.1.1 토시오 이와이

사용자는 트랙볼을 이용해 피아노 아래쪽에 프로젝션 되는 그리드 위에 점을 찍으면 그 점들은 그랜드 피아노 건반에 부딪히면서 음을 생성하고 다양한 색상의 형태의 3D 이미지로 변환되어 위쪽의 스크린을 따라 공간 속으로 펼쳐진다. 이 작업은 이미지와 사운드의 심미적인 결합과 물리적 대상과 디지털 미디어의 기능적인 결합을 하나의 공간에서 사용자의 참여로 이루어내는 진정한 의미의 미디어 융합의 초기작이라 할 수 있다[2].

3.1.2 Sound2vision

Sound2Vision 는 (주)하모니칼시스템¹이 제작하였고, 세계최초의 주파수 변조방식을 이용한 음색상호변환 원천기술과 화상법을 이용한 자동배색기술 등 독보적인 음향색채 분야 기술을 보유하고 있다. 음악의 감성인식이 각 음간의 로그스케일 스펙트럼 차이와 화성, 옥타브에서 비롯됨을 기본 개념으로 하여 이를 색채에 적용한 것이다. 소리와 색채 상호변환의 기초가 되는 것은 '음색변환공식'이며 파장으로 이루어진 음의 특성을 분석해 대응하는 색의 특성으로 변환한다.

3.1.3 Reactable²

스페인 Barcelona 의 Pompeu Fabra University 학교 음악 기술 연구원들이 개발해 낸 새로운 개념의 신디사이저이다. 리액터블(reactTable)은 탁자 위에 매개체를 놓으면서 음을 발생시키는 장치다. 멀티 터치(Multi-touch)이기 때문에 여러 사람이 협동하여 하나의 음을 만들 수 있고, 실시간으로 동작하기 때문에 다소 즉흥 연주도 가능하다. 스크린 위에 올려 놓는 매개체 밑면에는 알고리즘이 된 이미지가 있다. 이 모양들은 각각의 물건들이 어떤 것인지를 분별하고, 테이블 밑에 카메라를 통해 인식되며, 프로젝터를 통해 스크린에 이미지를 투사해준다. 간단하면서도 응용가능성이 풍부한 알고리즘이기에 많은 응용사례가 늘고 있고, 그에 따른 반응도 상당히 다양하다.

3.1.4 Limiteazero -Laptop_orchestra³

15 개의 램답이 오케스트라 단원들의 자리 구성과 같이 규칙적으로 배열되어 있고, 각각의 램답에는 컬러 스펙트럼

을 기반으로 한 사운드와 비주얼이 작동되는 알고리즘으로 구성된 Processing 소프트웨어가 설치되어 있다. 오케스트라 지휘자의 지휘봉에 따라 대원들이 악기를 연주하듯이, 이 작품 또한 지휘대 위치에 설치된 가느다란 금속대를 관람자가 건드림에 따라 각각의 램답이 활성화되거나 비활성화되는 작품으로 관람자에 따라 다양한 작업이 가능하게 된다.

3.2 과학적 통계별 사례연구

3.2.1 소리 분석

CMJ (Computer Music Journal)⁴, ASA (Acoustical Society of America)⁵, IEEE Signal Processing Society⁶ 등에서는 소리의 과학적 특성에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다. 또한 최근 ISMIR (International Conference on Music Information Rerieval)⁷ 과 같은 컨퍼런스에서는 음악의 특성을 활용하여 음악을 검색하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 최근에는 소리 분석에 관한 다양한 저서가 소개되고 있다. W.A. Sethares 는 그의 저서[4]에서 소리, 특히 음향의 다양한 과학적 측면에 대해 논의하였다. E. Zwicker[5]는 음향심리학(psychoacoustics)에 대한 이론적 토대를 쌓았다. 마지막으로, L. T. Jolliffe[3]는 음악 및 모션의 특성을 활용하여 데이터베이스 검색 엔진을 구축하는 다양한 연구 성과를 보였다.

3.2.2 칼루엔-뢰브(K-L) 변환

K-L 변환(또는 PCA)의 차원 감쇄 성능을 응용하여 다양한 데이터의 특징만을 추출하는 연구가 많이 이뤄지고 있다. 그 중 특히 소리와 음악에 관한 연구를 소개하자면 다음과 같다. J. Shen, et al.[6]은 PCA 와 다중계층 신경망(Multilayer Perceptron Neural Network)을 사용하여 다양한 특징들을 통합하여 분류하는 하이브리드 프레임워크를 작성하였다. 또한 Md. Molla, et al.[7]은 PCA 와 Kulback-Leibler divergence (KLd) 등을 사용하여 하나의 음성 신호를 분해하는 테크닉을 제안하였다.

4. Color note

4.1 Color note 의 Concept

기존의 악기는 음악을 만들어내기 위해 오랜 시간의 연습과 기술의 습득이 요구된다. 하지만, 뉴미디어와 디지털 기술, 그리고 사용자의 즉흥적인 참여로 인하여 악기는 새롭게 탈바꿈되고 보다 쉽고 흥미 있게 음악을 만들어낼 수 있을 것이다. Color note 는 단순한 사용자의 참여로 인하여 소리를 즉흥적으로 연주하게 만들며, 시간적으로 색과 소리의 결합이 이루어져, 자신의 움직임이 실시간으로 시각화, 청각화가 되는 상호작용이 행해지도록 한다.

4.2 Color note 의 구조

소리와 색의 관계는 소리의 파장과 색의 RGB 값을 기반으로 정하였다. 화면은 그래프화되어, 열은 박자속도를 나타내고, 행은 음계와 색을 나타낸다. 일반 음악악보와 같은 원리이지만, 오선지대신 화면에서는 픽셀 혹은 큐브 형태로 시각화하여 보여진다. 화면은 총 4 분의 4 박자의 7 마디로 구성이 되고, 총 28 개의 가로픽셀로 구성된다. 행을 나타내는 음계는 옥타브 5 에서 낮은 도에서부터 높은 도까지의 총 13 개 음으로 이루어진다. 각 음은 '도도#레레#미파파#

¹ <http://www.harmonicolor.com/>

² <http://mtg.upf.es/reactable/>

³ http://www.limiteazero.net/l_o/index.html

⁴ <http://204.151.38.11/cmj/>

⁵ <http://asa.aip.org/>

⁶ <http://www.ieee.org/organizations/society/sp/>

⁷ <http://www.ismir.net/>

솔솔#라라#시도' 순으로 아래에서부터 위로 배열이 되고, 그 순서는 각각 '빨주노초파남보자' 이라는 색으로 구성이 된다.

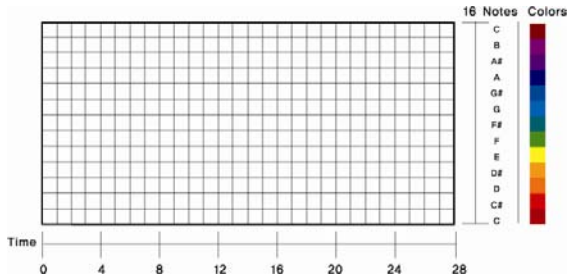


그림 6 Color note의 구조

5. 사용자의도의 계층범위 표현

5.1 계층범위 개념과 정의

본 연구에서는 사용자 의도를 다양한 계층범위로 나누어 정의한다. 정의한 사용자 의도 계층 범위는 요소, 부분, 전체로 구성된다. 우선, 그림 3의 구조에서 사용자가 변화시키기 위한 픽셀 하나하나를 요소(element)로 정의한다. 그리고 단위 시간에 한 세로줄에 표현된 픽셀의 모음을 부분(part)이라고 정의한다. 마지막으로, 사용자 의도의 전체가 반영되는 Color note의 전체 화면을 전체(universe)라고 정의한다.

5.2 요소의도

요소 의도(elemental intention)는 열에서의 한 개의 박자, 행에서는 한 개의 음과 색을 나타낸다. 전통적인 오선지에서의 음표는 디지털화되어 픽셀단위로 구성된다. 픽셀 형태는 부분, 전체로 소속/포함되기에 가장 단순화된 요소의 대표적인 형태이고, 사용자에게 가장 인지하기 쉽고 색과 음의 재현이 즉각적으로 이루어진다.

5.3 부분의도

부분 의도(partial intention)는 하나의 단위 시간에 한번에 표현되는 요소 의도의 모음을 이야기한다. 하지만, 사용자의 화성학적 의도와는 달리 부분 의도가 정확하게 표현되지 못할 수도 있다.

따라서 사용자의 의도를 반영한 부분 의도를 정리하기 위해, HD (Harmonic Defragmentation)라는 화성 정리 방법을 제안하고 사용한다. HD는 사용자의 의도로부터 음악적 울림을 시뮬레이션 하여 음악성을 극대화하는 화음을 찾아 부분 의도를 자동으로 정리하여 주는 알고리즘이다. HD에 대한 자세한 정의는 6.1절에 나타나 있다.

5.4 전체의도

전체 의도(universal intention)는 요소 의도와 부분 의도의 전체적인 흐름을 나타내는 의도이다. 이를 표현하기 위해서, 요소 의도를 하나의 표본(sample)으로 규정하고, 이들의 전체 방향을 추정하기 위한 다변수 통계 기법(multivariate statistical analysis) 중 칼루엔-뢰브 변환을 도입하였다. 이 방법에 대한 자세한 설명은 6.2절에서 소개한다.

6. 구현

6.1 Color note의 구현

Color note는 Processing⁸으로 제작이 되었다. Processing은 Java언어 기반으로 Casey reas⁹와 Ben fry¹⁰가 만든 인터랙티브 디자이너와 예술가를 위한 프로그래밍 환경이다. Color note는 사용자의 움직임을 카메라로 캡처하고, 그 정보값을 바탕으로 사용자의 의도를 시각과 청각으로 재생한다. 작품 설치에 있어서는 빔프로젝터로 화면을 만들고, 웹캠코더 혹은 비디오캠코더로 사람의 움직임을 입력한 후 컴퓨터로 그 움직임 정보를 인식하여 처리하면 반응된 데이터가 시각화되어 화면에 나타난다. 이후 4.2절에서 소개한 구조로 음악이 재생되고, 일정시간에 따라 다시 재시동되며 처음으로 돌아간다.

6.2 HD (Harmonic Defragmentation)

HD는 모든 악기가 고유의 음색을 가지고 있다는 가정에서 시작한다. 이때 악기의 음색(音色, timbre)은 [4]에서 볼 수 있는 것처럼 다양하게 정의되어 있다. 이러한 정의 중 본 작품에서 사용한 정의는 악기의 음색은 악기가 내는 고유의 소리 특성 중 하모닉스(harmonics)의 분포 차이에 의해 나타나는 차이로 정의한다. 특히, 악기의 음색이 조화적이거나 혹은 비조화적이라 하더라도, 다른 악기와와의 조합을 통해 동시에 연주되는 악기의 음색의 합이 조화 특성을 가지게 될 수도 있다. 이에 HD에서는 특정 F_0 에 대한 조화 특성(HP: Harmonic Property)을 다음 수식과 같이 정의한다.

$$HP(F_0) = \sum_{k=1}^N FT_{magnitude}(k \cdot F_0) \quad (1)$$

이때 $FT_{magnitude}$ 는 푸리에 변환(Fourier Transform)을 통한 각 주파수 bin 별 에너지(energy) 및 위상(phase) 결과 중 에너지 결과이며, N 은 F_0 의 배수의 개수이다. 즉, 임의의 신호가 가지는 F_0 를 알면 수식(1)을 사용하여 해당 주파수에 대한 조화 특성을 계산할 수 있다. 이때, 본 작품에서 요소의도는 각각의 색에 대응되는 한 개의 음을 표현하고 있고, 그 음의 F_0 는 이미 이론적으로 정의되어 있으므로 어떠한 요소의도에 대해서도 조화 특성을 계산하는 것이 가능하다.

한편, 사용자가 Color note를 통해 다양한 움직임을 취하고, 색을 통해 요소의도를 표현하였을 때, 사용자의 잠재적인 부분의도가 표현된다. 그러나, 상황에 따라서는 부분의도가 음악적 울림을 가지지 않을 수도 있다. 따라서 HD는 앞서 정의한 조화 특성(HP)을 이용하여 사용자의 의도에 가장 가까운 부분의도를 추정한다.

사용자가 다수의 요소의도를 이용하여 부분의도를 표현하였을 때, 전체 요소의도의 F_0 와 사용자 요소의도의 F_0 간 다음 관계가 있다고 가정한다.

$$E \equiv \{F_0 | f_1, f_2, \dots, f_M\} \quad (2)-1$$

$$E_{user} \equiv \{F_0 | f_1, f_2, \dots, f_{M_{user}}\} \quad (2)-2$$

$$E_{user} \subset E \quad (2)-3$$

이때 E , E_{user} 는 각각 전체/사용자 요소의도의 F_0 의 집합이며, M , M_{user} 는 각각 전체/사용자 요소의도의 개수이다. 이 시점에서 사용자 요소의도에 대해 평균적으로 정규화된 조화 특성의 합을 구하면 다음과 같다.

$$PartHP_{Current} = \frac{1}{M} \sum_{F_0 \in E_{user}} HP(F_0) \quad (3)$$

⁸ <http://www.processing.org/>

⁹ <http://reas.com/>

¹⁰ <http://benfry.com/>

한편, 현재의 부분의도의 조화 특성으로부터 변화될 수 있는 부분의도의 조화 특성은 $E_{user}-E$ 의 F_0 에 해당하는 조화 특성을 더하거나 E_{user} 의 F_0 에 해당하는 조화 특성을 빼면 가능하다. 또한, 이는 다음의 수식(4~6)과 같이 표현된다.

$$PartHP_{Candidate1} = \arg \min_{F_0 \in E-E_{user}} \left| \frac{PartHP_{Current} \cdot M + \alpha \cdot HP(F_0)}{M + 1} \right| \quad (4-1)$$

$$PartHP_{Candidate2} = \arg \min_{F_0 \in E_{user}} \left| \frac{PartHP_{Current} \cdot M - \alpha \cdot HP(F_0)}{M - 1} \right| \quad (4-2)$$

$$PartHP_{Next} = \min(PartHP_{Candidate1}, PartHP_{Candidate2}) \quad (4-3)$$

이때 α 는 조화 특성에 대한 가중치 값이다. 본 작품에서는 장조와 단조를 효율적으로 표현하기 위해 4도(단조의 경우 3도), 7도 화음에 대해 가중치를 적용하였다.

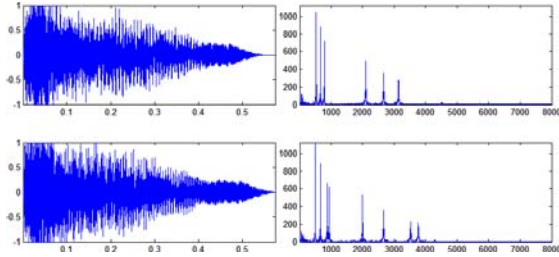


그림 7 장조 화음(위(C#F, A b))과 불협화음(아래(C, F, B b, B))의 조화분포

6.3 칼루엔-뢰브 변환(K-L Transform)

방향성을 알 수 없는 표본의 방향성을 추정하기 위한 다양한 다변수 통계 기법 중 칼루엔-뢰브 변환(K-L Transform; Karhunen-Loève Transform)은 주성분분석(PCA; Principal Component Analysis)이라고도 불리며, HCI/영상/음성 처리 분야에서 널리 쓰이는 대중적인 통계적 방법이다[3].

칼루엔-뢰브 변환은 다차원 벡터로 이루어진 데이터에 대해 높은 차원 정보를 유지하며 데이터의 차원을 낮은 차원으로 축소시키는 데이터 마이닝(data mining) 기법 중 하나이다. 이러한 기법은 다음과 같은 두 가지 상황에서 유효하다. 우선, 다차원 데이터의 요소 하나하나가 항상 유효한 정보만을 포함하고 있지는 않기 때문에, 이러한 정보를 생략하고자 하는 의도를 해결할 수 있다. 또한, 수집된 데이터가 항상 정형화된 데이터뿐만 아니라 기준에서 벗어난 데이터(outlier)를 가질 수도 있는데, 이러한 outlier의 효과를 최소화하는 역할을 하기도 한다. 이러한 장점들은 사용자가 항상 정확한 의도가 포함된 값만을 입력하지 않는 상황에서, 사용자가 의도하지 않은 값들을 제거하고 필요한 의도만을 추출하는 데에 매우 용이하다.

칼루엔-뢰브 변환을 계산하는 과정은 다음과 같다. 우선, 다음의 수식(5)과 수식(6)을 통해 공분산 행렬(covariance matrix)을 계산한다.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \quad (5)$$

$$\Sigma = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (x_n - \mu)(x_n - \mu)^T \quad (6)$$

이때, 수식(5)은 각 차원 축 입력 x_n 의 평균 벡터를 계산하는 사전 과정이며, 수식(6)은 계산한 평균을 통해 공분산 행렬 Σ 를 계산하는 과정이다.

$$\Sigma = \Omega \Lambda \Omega^T \quad (7)$$

공분산 행렬을 계산하면 이제 수식(7)의 고유 분석(eigenanalysis)을 통해 고유값(eigenvalue)과 정규화된 고유 벡터(eigenvector)를 구할 수 있다. 이때 행렬 Ω 는 Σ 의 고유 벡터이다.

$$\Omega_{OPT} = \arg \max_{\Omega} |\Omega^T \Sigma \Omega| \quad (8)$$

전체 과정은 고유값 행렬 Λ 를 역산하는 과정이 된다. 이때 고유값 행렬 Λ 의 각 성분(고유값)은 각 축의 차원에 대한 기여도가 되며, 이는 수식(8)에서처럼 한정된 수의 고유 벡터와 그 행렬 Ω_{OPT} 를 취하기 위한 선택 기준이 된다.

$$y = \Omega_{OPT}^T x \quad (9)$$

최종적으로 주성분 행렬 Ω_{OPT} 를 이용하여 입력 x 와 변환된 출력 y 간의 관계를 수식(9)과 같이 표현할 수 있다.

본 작품에서는 사용자의 전체의도를 표현하기 위해 사용자의 요소/부분의도와 시간, 그리고 HP 등을 입력 데이터로 활용하고, 전체 의도를 K-L 변환을 사용하여 2차원 방향성을 추출하였다.

7. 결과



그림 8 Color note의 설치모습

7.1 Color note의 결과

사람의 키와 움직임은 속도에 있어서 Black Color를 감지하여 화면에 음들을 배열하기에, 사람의 키, 움직임에 따라 다양한 패턴이 나왔다. 예상치 못한 음들의 조화로 인한 새로운 느낌의 완성된 음악과 불협화음을 안정적인 느낌의 화음으로 자동정렬해주는 기능이 있어서도 반응이 좋았다. 대체적으로 관람자들은 자신의 움직임이 또 다른 음악의 연주의 한 방법이라는 것 자체에 흥미를 느꼈고, 시각적으로도 색과 음이 어떠한 연결고리를 가지고 재생이 된다는 데에, 재시도를 해보는 경우도 많았다.

한편으로, 프로그래밍 구현에 있어서 JAVA 기반의 Processing의 재생속도는 한계가 있었다. 사용자의 움직임에 따른 즉각적인 반응이 이루어지지 않고 딜레이가 생기는 문제점이 발생하였다. 보다 많은 수의 픽셀과 음원의 재생에 따른 반응속도 개선을 위한 노력이 후후에 요구될 예정이다. 이를 위해서는 다른 언어의 프로그램 기반 사용과 음원의 MIDI 화가 필요하다.

7.2 Color note 의 사용자 만족도 분석

마지막으로, 사용자의 흥미를 계량하여 평가하기 위해서 사용자에게 평가 설문을 진행하였다. 설문은 작품을 설치해 놓은 전시장에서 즉각적으로 이루어졌고, 총 참여자 30 명에게 직접 작품을 시연하게 하고 설문지를 이용하여 실시되었다. 설문 내용은 총 3 가지로 구성된다. 첫 번째는 심미성 측면, 두 번째는 부분 의도와 전체의도를 표현하기 위해 제안한 알고리즘 HD 의 만족도 측면에서 조사하였다. 마지막으로 세 번째는 작품시행에서 나온 화음의 분석이다.

7.2.1 심미성 측면에서의 설문조사

	매우 좋다	좋다	보통 이다	그저 그렇다	나쁘다
디자인	13	8	5	3	1
색	9	12	6	2	1
색과 음의 조합	6	5	11	8	0

표1 Color note 의 심미성 측면에서의 설문조사(총30명대상)

대체적으로 심플한 픽셀들로 이루어진 디자인에 만족하는 편이었고, 색과 음이 함께 표현됨에 있어서 아름답다는 의견이 많았다. 총 30 명 중 약 20 명은 디자인과 색, 그리고 음의 조합이 아름답다는 의견을 나타냈다. 하지만 지나치게 단순하고 색의 배열이 마음에 들지 않는다는 의견도 1 명 있었다. 보다 발전된 디자인의 완성도가 요구되는 결과를 보여주었다. 또한, 대다수의 관람자들은 색과 음의 연관성에 대한 의문을 가지고 질문을 하였다.

7.2.2 알고리즘 HD 의 만족도 측면에서의 설문조사

	매우 좋다	좋다	보통이 다	그저 그렇다	나쁘다
부분의도	8	10	7	3	2
전체의도	9	12	6	2	1

표2 Color note 의 알고리즘 HD 의 만족도 측면에서의 설문조사
(총30명대상)

관람자들은 자신이 그린 Color note 가 자동적으로 불협 화음을 제거하고 하나의 음악으로 정렬해주는 알고리즘 HD 에 대해 호기심을 가졌다. 총 30 명 중 18~21 명은 자신의 즉흥적인 움직임이 반복성이 더해져 음악을 만드는 것에 흥미를 갖고 재시도하면서 또 다른 결과물을 만들어 내기도 하였다. 한편으로는, 자신이 직접 그린 화음이 바뀌는 것은 고유성을 침해하는 부분이라 생각하는 의견도 있었다. 보다 다양하고 독창적이 Color note 의 음악을 중요시하고 알고리즘 HD 의 사용에 대한 의문을 품는 관객의 반응인 것이다.

7.2.3 Color note 의 결과물에서 나온 화음 분석

	재생빈도수 (총 30 번)
CEG	23
EG#B	19

DFA	16
D#F#A#	15
EGB	12
CFA	9

대체적으로 사람들의 키에 가장 가깝게 맞추어져 있는 높이의 음은 연속적으로 재생되었다. 남자는 평균 173cm 정도에 위치해 있는 라,라#, 시가 가장 많이 재생되었고, 여자는 평균 163cm 정도인 파#,솔이 많이 재생되었다. 결과물에서 나온 화음은 이 음들이 포함된 화음이 가장 많은 부분을 차지하였고, 가장 높은 위치에 위치한 높은 도와 가장 낮은 위치에 위치한 낮은 도는 재생빈도수가 가장 낮았다.

8. 결론 및 추후연구

이 연구에서는 음과 색을 사용한 Color note 라는 새로운 형태의 악기를 제안하였고, 이를 사용자 의도와 결과 만족도 분석을 통해 앞으로의 작업의 지표를 마련하였다. 추후에는 디자인과 심미적인 측면에서 완성도를 높여야 하며, 음도 간단한 화음만을 제공해주는 것이 아닌, 타악기 등으로 박자를 더해주는, 보다 완성된 음악을 만들 수 있는 인터랙티브 설치 악기를 제작할 예정이다. 이번 연구는 추후 연구의 기반이 될 것이며, 이번 작품에서 나타난 실험과 결과로 보여진 단점들은 추후연구에 보강될 것이다. 앞으로의 휴먼 인터랙션과 뉴미디어 인스톨레이션 작업은 음악악기의 범주를 넓힐 것이고, 사람들은 보다 쉽고 재미있으며 인지적인 방식으로 자신만의 고유한 음악을 만들 수 있을 것이다. 음악과 인간의 행동에 대한 보다 체계적인 결과분석은 디지털 기술과 사용자의 의도가 더해져 또 다른 형태와 방법적인 측면의 새로운 사운드 인터랙션을 제안할 것이다.

참고문헌

- [1] 이석원, "음악음향학," 심설당, p.18, 2003.
- [2] 박정순, "디자인 확장으로서의 인터랙티브 아트 연구 -도시오 이와이의 작품을 중심으로," 디지털 디자인 학 연구, Vol. 8, pp.83-84, 2004.
- [3] L. T. Jolliffe, "Principal Component Analysis," Springer, May. 1986.
- [4] W.A.Sethares, "Tuning, Timbre, Spectrum, Scale," Springer-Verlag, 2005.
- [5] E. Zwicker, H. Fastl, "Psychoacoustics—Facts and Models," Springer, 2nd Ed., 1999.
- [6] J. Shen, et al., "Towards Effective Content-Based Music Retrieval with Multiple Acoustic Feature Combination," IEEE Trans. on Multimedia, Vol.8, No.6, pp. 1179-1189, Dec. 2006.
- [7] Md. K.I. Molla, et al., "Single-Mixture Audio Source Separation by Subspace Decomposition of Hilbert Spectrum," IEEE Trans. on Audio, Speech, and Signal Processing, Vol.15, No.3, pp. 893-900, Mar. 2007.