

음악 요소의 열 촉각 렌더링

Thermal Tactile Rendering of Musical Features

최혜진

Hyejin Choi

포항공과대학교 컴퓨터공학과
Dept. of Computer Science and
Engineering, POSTECH
hyejin1208@postech.ac.kr

유용재

Yongjae Yoo

포항공과대학교 컴퓨터공학과
Dept. of Computer Science and
Engineering, POSTECH
dreamseed@postech.ac.kr

최승문

Seungmoon Choi

포항공과대학교 컴퓨터공학과
Dept. of Computer Science and
Engineering, POSTECH
choism@postech.ac.kr

요약문

본 연구에서는 음악의 감성적 특성에 주목하여, 대표적인 요소(Salient feature)들인 멜로디, 음량, 가사를 열 촉각으로 매핑하였다. 이를 활용하여 장애가 없는 사용자에게는 음악과 열을 동시에 제공하여 음악을 청-촉각으로 동시에 느낄 수 있도록 하며, 청각 장애인에게는 음악을 촉각으로 느낄 수 있도록 하는 시스템을 제작하였다. 음악 경험자를 대상으로 한 사용자 실험에서는 3 종류의 음악 장르(동요, Pop, Ballad)에 대하여 렌더링한 열 촉각 자극의 사용자 경험에 대하여 정량, 정성적인 설문 조사를 수행하였으며, 이를 토대로 열 촉각을 이용한 음악 요소의 렌더링 가이드라인을 수립하였다.

주제어

열 촉각 렌더링(thermal tactile rendering), 햅틱스(haptics), 감각 대체(Sensory substitution), 감각 중복(Sensory Redundancy), 사용자 경험(User Experience)

1. 서론

음악은 소리를 이용하여 사람들에게 의미와 감성을 전달하는 예술의 한 갈래로, 대중음악부터 클래식, 재즈, 현대음악, 노동요 등에 이르기까지 다양한 형태로 폭넓게 향유되어 왔다. 최근 들어 음악은 단순한 의미 및 감성 전달 기능을 넘어 자폐, 우울증 등 정신 질환의 치료를 위한 음악 치료 요법(Music therapy) [1], 성장기 어린이의 정서 함양을 위한 음악 교육 [2] 등 다방면에 널리 활용되고 있다.

최근 들어 이러한 음악은 듣기만 하는 데 그치지 않고, 촉각적으로도 느낄 수 있도록 함으로써 감각 중복 효과를 통해 더 나은 사용자 경험을 얻을 수 있다 [3]. 이는 단순한 음악감상에 그치는 것이 아니라, 모바일 게임의 진동 효과, Sony 의 게임 컨트롤러 Dualshock®[4] 의 진동 기능 등 엔터테인먼트 산업 각 분야에서 이미 적극적으로 활용되고 있다.

또한, 음악의 촉각 렌더링은 청각 장애인을 위한 감각 대체에도 유용하게 활용될 수 있다. 청각 장애인의 수는 국내에만 25 만명에 달하는데, 이들은 음악의 정서적, 기능적 이점을 거의 누릴 수 없는 상황이었다 [5]. 그러나 최근 들어 급격히 발전한 진동 촉각(Vibrotactile) 기술을 중심으로, 모바일 기기 [3], 의자 [6] 등에 진동을 줌으로써, 청각을 대체하여 음악을 전달하기 위한 시도가 이루어졌다. 하지만 이러한 시도는 리듬과 같이 현저하게 드러나는 요소(Salient feature)의 전달에 그치고 있으며, 특히 음정, 가사, 템포 등 다양한 요소가 결합되어 나타나는 분위기(Mood) 등 감성적인 요소들은 아직까지 거의 고려가 되지 않은 상황이다.

한편, 열 촉각(Thermal Tactile) 자극은 피부에 느껴지는 온감, 냉감 및 온도의 변화를 의미하는데, 이는 다양한 종류의 촉각 자극 중에서도 가장 감성적(Affective)이며, 또한 동조적(Sympathetic)인 특성이 있다 [7]. 열 자극의 이러한 특성에 주목하여, 열 자극을 활용한 다양한 인터랙션을 설계하기 위한 연구가 최근 들어 주목을 받고 있다 [8].

본 연구에서는 열 촉각 자극의 감성적 특성에 주목하여 음악의 다양한 요소를 전달하기 위해 음악과 열 촉각을 동시에 제공하는 시스템을 구현하고 음악의 현저한(Salient) 요소 중 멜로디, 음량, 가사를 열 촉각으로 매핑하였다. 사용자 실험에서는 3 종류의 음악 장르(동요, Pop, 발라드)에 대하여 매핑한 열 촉각 자극의 사용자 경험에 대하여 몰입도, 만족도와 같은 정량적인 설문조사와, 자유 응답을 통한 정성적인 설문 조사를 수행하였다. 또한, 실험 결과를 바탕으로 열 촉각을 이용한 음악 렌더링의 가이드라인을 일부 수립하였다.

2. 열 촉각 하드웨어 및 음악 요소의 렌더링

음악을 열 자극으로 렌더링 하기 위하여 현재까지는 음악과 열 촉각의 관계에 대하여 거의 알려진 바가 없으므로, 리듬을 제외하고 가장 현저하게 드러나는

요소인 멜로디, 음량과 가사에 대하여 직접 매핑하는 방식을 택하였다. 또한, 펠티어(Peltier) 소자를 이용, 음악의 각종 요소를 열 촉감 자극으로 렌더링하고, 이를 음악과 동시에 재생하는 시스템을 제작하였다.

2.1 시스템의 구성

열 촉감의 렌더링을 위하여 펠티어(Peltier; TEC1-12706) 소자를 활용하였다. 펠티어 소자는 전류를 통할 때 그 정도에 따라 한쪽 면에는 발열 효과가, 다른 한쪽 면에는 흡열 효과가 발생하는 특성이 있는데, 전류의 방향(+, -)과 전류량을 제어함으로써 사용자의 피부와 접촉하는 면의 온도를 조절할 수 있다. 또한, 피부와 접촉하지 않는 면은 알루미늄 히트싱크를 부착, 축열 작용을 방지하였다.

전류의 방향 및 전류량은 다용도 DAQ (Data Acquisition) 장치가 부착된 컴퓨터를 이용하여 제어하였다. 이 때, DAQ 로부터 출력된 전압의 전류량을 충분히 증폭시키기 위하여 Op-Amp 를 사용한 직류 증폭 회로를 제작하였으며, 고전류 DC 전원(12V, 5A)을 사용하여 충분한 전류가 펠티어에 인가될 수 있도록 하였다.

컴퓨터상의 MFC 기반 프로그램을 사용하여, 음악 요소로부터 추출된 전압 값을 DAQ 장치의 Analog Output 신호로 출력, 증폭 회로를 거쳐 펠티어 소자에 전압을 인가함으로써 장치를 구동하게 된다. 하드웨어의 전체 구성을 정리하면 아래 그림 1 과 같으며, 실제 접촉 부위는 그림 2 와 같다.

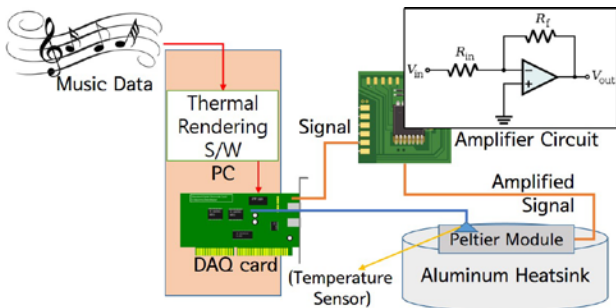


그림 1. 음악-열 촉감 렌더링 시스템의 구성

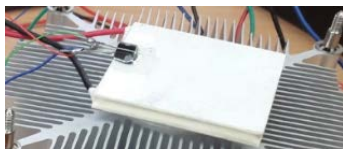


그림 2. 펠티어 소자의 신체 접촉 부위

2.2 음악 요소 추출 및 렌더링

음악 데이터는 음악 파일과 악보로부터 추출하였으며, 열 촉감 렌더링에 사용할 요소로 멜로디, 가사, 음량을 선정하였다. 또다른 현저한 요소인 리듬의

경우 변화가 매우 심한 편이므로 상대적으로 변화 속도가 느린 열 자극에는 적합하지 않다고 판단하여 제외하였다. 각 요소별 렌더링 방법은 아래 표 1 에 정리하였다.

표 1. 음악 요소의 열 촉감 렌더링 방법

음악 요소	렌더링 방법
멜로디	최고/최저음을 기준으로 음높이가 높을수록 고온이 되도록 매핑
음량	음량의 최고/최저점을 기준으로 성량이 클수록 고온이 되도록 매핑
가사	단어 의미에서 연상되는 메타포어 (metaphor)를 이용 (예: wind, snow-차가움; 사랑, 인연-따뜻함)

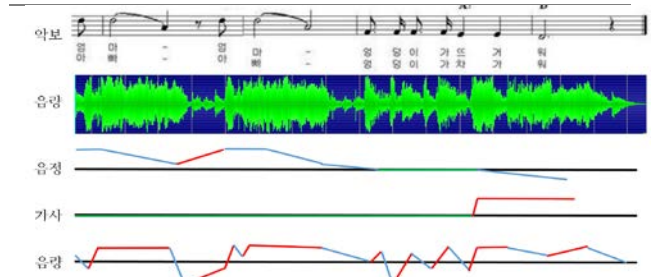


그림 3. 렌더링 방법 예시 (어린 송아지 (동요))

3. 사용자 실험

사용자 실험에서는 음악의 멜로디, 음량, 가사의 각 요소를 이용하여 표현한 열 촉감 자극과 음악을 같이 느끼도록 한 후, 음악과 열 촉감이 서로 어울리는지, 몰입감 증대에 도움이 되었는지, 그리고 열 촉감 렌더링의 주관적 만족도를 설문 조사를 통하여 평가하였다. 또한, 실험 후 설문지를 통하여 시스템 및 렌더링 방법에 대한 주관적 피드백을 자유롭게 기술하도록 하였다.

3.1 실험 조건 및 피실험자

실험에는 남자 9 명, 여자 9 명의 총 18 명의 음악 경험자(대학생 및 대학원생, 음악 경험 1 년 이상)가 참여하였으며, 실험 종료 후 1 시간 이내의 실험에 대한 대가 (1 만원)를 지급하였다.

사용한 음악 데이터는 아래 표 2 와 같다. 3 개 곡에 대하여 각각의 음악 요소 렌더링 방법 총 3 가지를 조합, 9 개의 실험 조건을 사용하였으며, 제시 순서는 Latin Square 를 사용하여 Balancing 하였다. 피실험자는 각 Trial 마다 약 30 초 내외의 음악과 열 자극을 느낀 후, 설문지를 작성하였다. Trial 사이에는 최소 15 초 이상의 휴식시간이 주어졌다.

표 2. 실험에 사용한 음악 데이터

음악 장르	음악
동요	(미상) - 어린 송아지 (전 곡)
Pop	Idina Menzel - Let it go (0:17-0:47)
Ballad	이선희 - 인연 (0:53 - 1:21)

3.2 실험 절차 및 결과 분석

실험에서는 각 실험 조건에 대하여 2 회 반복하여 피실험자 한 명당 총 18 회의 Trial 을 수행하였다. 각 Trial 에서 피실험자는 음악과 열 촉감을 동시에 느끼고, 어울림(Congruency), 몰입도(Immersion), 만족도(Satisfaction)를 0-100 점 만점의 척도로 평가하도록 하였다. 모든 Trial 이 종료된 후 열 촉감 시스템과 음악의 열 촉감 렌더링에 대한 자유로운 피드백을 받았다. 이 때, 실험 결과의 분석에서는 각 실험 조건에서 두 번째 응답 결과만을 사용함으로써 초반에 장치 등에 제대로 적응하지 못하여 발생하는 오차를 줄이고자 하였다. 즉, 피실험자별로 10-18 번째 Trial 의 응답만을 결과 분석에 활용하였다.

3.3 결과

각 실험 조건별로 몰입도, 어울림과 만족도를 평가한 결과를 표 3-5 에 정리하였다. 우선, 멜로디 기반 렌더링이 대부분의 실험 조건에서 가장 높은 점수를 받았으나, 피실험자간 큰 편차를 나타냈다. 2-way ANOVA 를 이용한 통계분석을 수행하였으나, 큰 편차와 더불어 데이터가 Normality assumption 을 만족하지 못하므로 통계적 유의미성을 확인할 수는 없었다. 그림 3 에 렌더링 방법에 따른 전체 평균을 도표로 나타내었다.

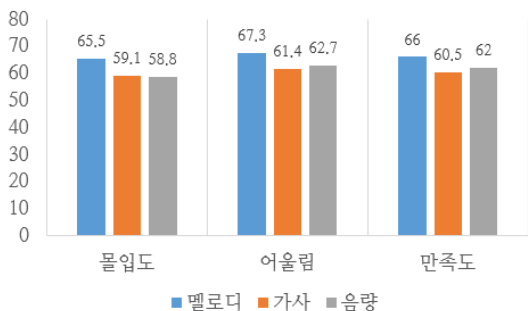


그림 4. 각 렌더링 방법의 평균 몰입도, 어울림, 만족도 점수
 피실험자들은 사후 설문에서 지나치게 뜨거워지거나 차가워지는 것(각 19 회, 8 회 언급)이 좋지 않다고 응답하였으며, 변화가 너무 크거나 작게 느껴지는 경우 또한 선호하지 않은 경우가 많았다 (각 2 회, 11 회). 그러나 동일한 방법을 선호하는 사용자도

존재하였다 (각 1, 4 회). 또한, 사용자별로 열 촉감의 선호도에 있어 개인 차가 존재하는 것을 확인할 수 있었는데, 멜로디나 음량, 가사에 부합한다고 판단, 선호하는 사람 (총 14 회 언급)과 어울리지 않는다고 판단하여 선호하지 않는 사람(총 12 회 언급)이 비슷한 비중으로 나타났다.

표 3. 몰입도 응답 결과 (Mean ± Standard deviation)

음악/렌더링	멜로디	가사	음량
동요	64.5 ± 19.8	58.5 ± 20.3	56.9 ± 23.2
Pop	64.3 ± 20.8	62.1 ± 20.4	64.3 ± 18.9
Ballad	67.8 ± 19.8	56.8 ± 22.0	55.2 ± 21.7

표 4. 음악-열 간의 어울림(Mean ± Standard deviation)

음악/렌더링	멜로디	가사	음량
동요	67.6 ± 18.9	61.9 ± 20.9	62.2 ± 21.5
Pop	65.4 ± 19.8	65.5 ± 19.2	64.5 ± 17.1
Ballad	69.0 ± 19.9	56.9 ± 16.7	61.3 ± 21.4

표 5. 만족도 응답 결과 Mean (Standard deviation)

음악/렌더링	멜로디	가사	음량
동요	64.6 ± 21.2	60.7 ± 21.7	60.7 ± 21.6
Pop	64.5 ± 20.1	63.7 ± 19.8	69.0 ± 19.5
Ballad	69.0 ± 19.5	57.0 ± 19.3	56.4 ± 20.0

4. 고찰

4.1 열 촉감 선호 요소 분석 및 렌더링 가이드라인

실험 결과, 열 촉감을 이용하여 음악을 표현하고, 동시에 제공함으로써 전반적인 사용자 경험의 향상을 가져왔다. 그러나, 어떤 렌더링 방법이 최적인지 확인하기는 어렵다. 개별 데이터를 살펴보면, 같은 음악에 대하여 멜로디를 이용한 렌더링에 75.3 점, 음량을 이용한 렌더링에 6.5 점만을 부여하는 등 개별 피험자의 결과에서 큰 차이를 보였다. 따라서, 각 음악별, 문항별로 고득점 (80 점 이상)과 부정 평가(40 점 미만) 응답의 개수를 표 6 과 같이 조사함으로써 피실험자의 선호 및 비선호 요소를 분석하였다. 고득점 및 부정 평가 응답은 전체 평균점수(61.1)를 기준으로 구분하였다.

조사 결과, 멜로디 기반 열 촉감 렌더링이 모든 문항에 대하여 고득점 응답 횟수가 다른 방법에 비해 더 많이 나타났으며, 특히 Pop 과 Ballad 장르에서 더

큰 차이를 나타내었다. 또한, Pop 음악을 가사 기반 렌더링했을 때에도 고득점 응답이 다수 나타났다. 반면, 음량의 경우는 동요를 제외하고는 고득점 응답 횟수가 상대적으로 적었으며, Ballad 에서는 부정 평가 응답과 고득점 응답 수가 비슷하게 나타났다. 즉, 장르에 따른 편차는 다소 존재하지만, 일반적으로는 멜로디 기반 렌더링이 조금 더 선호된다고 볼 수 있으며, 이는 3.3 절 표 3-5 의 결과와 어느 정도 일맥상통한다고 볼 수 있다. 또한, 동요와 같이 단순한 음악은 특별히 한 가지의 방법이 더 낫다고 보기는 어렵다. 궁극적으로는 사용자의 취향 및 선호도에 크게 영향을 받으므로, 사용자의 응답에 따라 적절한 촉감을 제공하는 적응형 방식(Adaptive Method)을 고려하는 것이 바람직하다 할 수 있다.

표 6. 장르별 열 촉감 렌더링 방법의 고득점 및 부정 평가 응답 횟수 (고득점 응답 수 / 부정평가 응답 수)

음악 / 문항	멜로디	가사	음량
동요	몰입감	5 / 2	4 / 2
	어울림	4 / 1	2 / 1
	선호도	6 / 2	4 / 2
Pop	몰입감	8 / 1	7 / 1
	어울림	10 / 1	4 / 2
	선호도	8 / 1	5 / 1
Ballad	몰입감	10 / 1	1 / 0
	어울림	6 / 0	4 / 3
	선호도	8 / 0	2 / 1

4.2 연구의 한계점

본 연구는 댄스, 록 음악 등 강렬한 리듬을 포함하는 장르와 클래식이나 현대음악 등 미적 기능이 극대화된 장르가 고려되지 않았다는 한계가 있다. 따라서, 이들 장르에 대하여 추가 실험을 고려할 필요가 있다. 또한, 청각 장애인들은 본 시스템에서 열 촉감만을 느끼게 되므로, 비장애인과 다르게 받아들일 가능성이 높다. 따라서, 향후 청각 장애인을 대상으로 실험을 수행, 확인할 필요가 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 음악의 요소 중 멜로디, 가사, 음량을 열 촉감 자극으로 표현하고, 이를 음악과 동시에 제공하는 시스템을 구현하였다. 또한, 사용자 실험을 통하여 음악의 열촉감 렌더링 알고리즘의 몰입감,

음악과의 어울림과 만족도를 조사하였다. 실험 결과, Pop 과 Ballad 장르에 대해서는 멜로디 기반 렌더링이 유리한 결과를 나타냈으나, 통계적으로 유의미함을 확인하기는 어려웠다. 또한, 주관적 응답에서 긍정/부정 평가 빈도수를 바탕으로 하여 일부 음악 장르의 열 촉감 렌더링 가이드라인을 제시하였다. 향후 다양한 장르의 음악에 대하여 열 촉감 렌더링을 수행하고, 진동 촉감 장치와의 결합을 통해 청각-열-진동 다중감각 시스템으로의 확장을 수행할 것이다. 또한, 이 시스템을 통하여 가장 많은 수혜를 볼 것으로 기대되는 청각 장애인을 대상으로 사용자 실험을 수행할 계획이다.

사사의 글

본 연구는 미래창조과학부 재원으로, 한국연구재단의 과학기술-인문 융합연구(2016M3C1B6929724), X-Project(2016R1E1A2914792) 사업의 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

1. American Music Therapy Association. What is music therapy? www.musictherapy.org
2. Gold, C., Voracek, M., and Wigram, T. (2004). Effects of music therapy for children and adolescents with psychopathology: a meta-analysis. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(6), 1054-1063.
3. Hwang, I., Lee, H., and Choi, S. (2013). Real-time dual-band haptic music player for mobile devices. *IEEE Trans. on haptics*, 6(3), 340-351.
4. Sony, Dualshock® Controller. <https://www.playstation.com/en-us/>
5. 고용노동부, 한국장애인고용공단 (2014). 2014년도 EDI장애인 통계, pp.29.
6. Nanayakkara, S. C., Wyse, L., Ong, S. H., and Taylor, E. A. (2013). Enhancing musical experience for the hearing-impaired using visual and haptic displays. *Human-Computer Interaction*, 28(2), 115-160.
7. Paterson, M. (2007). *The senses of touch: Haptics, affects and technologies*. Berg.
8. Wilson, G., Dobrev, D., and Brewster, S. A. (2015). Hot Under the Collar: Mapping Thermal Feedback to Dimensional Models of Emotion. *Proc. of CHI 2015*, pp. 4838-4849.