

햅틱 피드백을 이용한 현악기 연주자의 음정 교육 시스템

HapTune: A Haptic Feedback System for Pitch Learning of String Players

유용재, Yongjae Yoo*, 최승문, Seungmoon Choi***

요약 본 논문에서는 햅틱 피드백을 이용하여 현악기 연주자의 음정 교정을 돕는 시스템을 제안하고, 이를 구현하여 사용자 실험을 통한 평가를 수행하였다. 현악기 교육에서 연주 음의 교정 시에는 연주 음을 시각화하여 보여주는 장치인 크로매틱 튜너(Chromatic tuner)가 널리 사용되어왔으나, 이는 시선을 분산시킴으로써 학습자의 독보(scorereading)를 방해하는 등의 문제가 있다. 본 논문에서 구현된 HapTune 시스템은 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 시각 신호 대신 두 개의 진동자가 부착된 암밴드(armband)를 이용하여 연주 음의 오차에 대한 햅틱 피드백을 제공하였다. 또, 18명의 피실험자를 대상으로 크로매틱 튜너와 HapTune 시스템의 비교 실험을 통한 음정 교정 효과를 검증함으로써 그 효용성을 확인하였다.

Abstract This paper presents a tactile guidance system which helps a learner correct the pitch of string instruments. For a long time, chromatic tuners, which visualizes the error of played pitch, have been used as an aid in pitch correction. However, they can detract user from other visual cues, such as musical scores. We implemented and evaluated an alternative called HapTune, which presents the pitch error using two vibrotactile actuators attached on armbands. The effectiveness of our alternative were evaluated by a user study with 18 novice string players. The alternative showed some advantages over chromatic tuners.

핵심어: 햅틱 피드백 (*haptic feedback*), 음악 교육(*learning of music*), 컴퓨터 보조 학습(*CAI: Computer-Assisted Instruction*), 햅틱 유도 (*haptic guidance*), 사용자 오류 정정(*user error correction*)

본 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원과(No. 2013R1A2A2A01016907, No.2010-0019523), 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 결과로 수행되었음 (No. NIPA-2013-H0301-13-3005). 또한, 본 논문의 주저자는 한국연구재단의 글로벌 박사 펠로우십 (No. 2011-0008614)의 지원을 받아 연구를 수행하였음.

*주저자 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정 e-mail: dreamseed@postech.ac.kr

***교신저자 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 부교수; e-mail: choism@postech.ac.kr

1. 서론

바이올린, 비올라와 같은 현악기들은 피아노 등의 다른 악기들에 비해 상대적으로 배우기 어려우며 숙달되기까지 오랜 시간이 소요되므로 학습자들이 어려움을 겪는다. 현악기 학습자들은 악보를 읽음과 동시에 운지법, 자세 유지 및 활 긋기 등 많은 동작을 동시에 수행함을 요구받는데, 이를 올바르게 수행하기 위해서는 개별 동작에 대하여 오랜 연습 시간이 필요하다. 예를 들어, Konczak의 연구에 따르면 초심자가 기초 활 긋기(bowing)에 숙달되기까지 약 700 시간 정도의 연습이 필요하다고 알려져 있다 [1].

이러한 어려움을 경감하고자, 박자기(metronome)이나 활 가이드(bow guide)와 같은 다양한 종류의 보조 장치들이 이용되어 왔다. 또한, 현악기 교육 시스템에 대한 연구도 이루어졌다. Yin 등은 운지법, 자세 등을 시각적으로 보여주는 교육 시스템을 개발하였으며 [2], Ng 등은 증강현실을 이용하여 자세 오류를 교정하는 시스템을 개발하였다 [3].

이러한 다양한 시도에도 불구하고, 현악기의 연주 음정 교정을 위한 시스템에 대한 연구는 아직 미흡하다. 또, 보조 도구로써 연주 음정과 올바른 음정의 오차를 시각적으로 제공하는 장치인 크로매틱 튜너(chromatic tuner)가 널리 사용되고 있으나, 이는 시각적으로 정보를 제공함으로써 학습자의 독보(악보 읽기, scorereading)를 어렵게 만드는 단점이 있다. 또, 일반적으로 이것을 악보 보면대 위에 올려놓고 사용하는데, 이는 시각 정보가 눈높이보다 상당히 낮은 곳에서 계속 나타나는 결과를 가져오게 되어 결과적으로 학습자의 올바른 자세 유지를 방해한다.

한편, 촉각, 즉 햅틱 감각 경로는 시각, 청각 등의 다른 감각 채널과는 달리 현악기 연주 시 거의 사용되지 않으므로, 정보 전달에 유용하게 활용할 수 있다. 이러한 햅틱 신호를 이용한 정보 전달은 피아노의 운지법 교육[4], 드럼의 리듬 교육 [5], 현악기의 활 긋기[6]에 활용되어 왔다. 본 논문에서 소개할 HapTune 시스템은 이러한 햅틱 신호를 이용하여 음정의 올바른, 높고 낮음을 전달함으로써 상기의 단점을 보완하면서 음정 교정을 수행할 수 있다.

본 논문에서는 HapTune 시스템의 구성 및 햅틱 피드백의 설계를 기술하고, 교육 효과와 효용성을 검증하기 위한 사용자 평가 실험과 그 결과에 대하여 기술하였다.

2. 햅틱 음정 교육 시스템: HapTune

그림 1에 제시된 바와 같이, HapTune 시스템은 학습자가 연주한 음정을 매 순간 녹음하여 이를 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform; FFT)등을 통한 주파수 분석을 수행한다. 이 과정에서 일반적으로 조율에 쓰이는 평균율

(기준을 '라' 음 440 Hz)을 기준으로 해당 음의 이상적인 주파수와와의 차를 계산하여, 그림 2, 표 1에 제시된 햅틱 피드백을 주파수의 차에 따라 학습자에게 제공한다. 이를 통하여 학습자는 연주 음정의 올바른 여부를 판단할 수 있다. 햅틱 피드백은 현악기 연주에서 사용되지 않는 왼팔 상단과 하단에 진동 암 밴드(arm band) 착용을 전제로 하여, 충분히 강한 2g~5g의 저주파(80~100 Hz 중첩) 진동을 이용하여 총 4단계로 구분하여 제공함으로써 피실험자가 햅틱 신호를 용이하게 인지하도록 하였다.

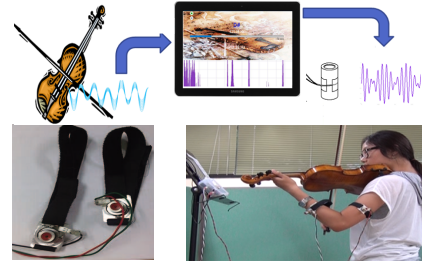


그림 1. Haptune 시스템의 개괄(상단), 진동 하드웨어(하단 좌) 및 착용 예(하단 우)

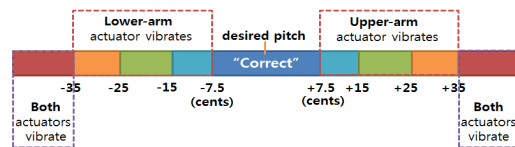


그림 2. 연주 음의 오차에 따른 햅틱 피드백 패턴의 도식화. 연주 음이 낮은 경우에는 왼팔 하단의 진동자, 높은 경우에는 상단의 진동자에서 진동을 발생시킨다. [표 1]에 각 영역에 따른 햅틱 피드백이 표기되어 있다.

표 1. [그림 3]의 각 구간 별 햅틱 피드백의 강도 및 주기

영역	오차 정도	펄스 간격	강도	펄스 길이
Cyan	±7.5cent ¹⁾ 이상	100 ms	<2g, 오차에 비례 (약함)	20ms
Green	±15cent 이상	60 ms	3~3.5g (중간)	20ms
Orange	±25cent 이상	20 ms	4.5~5g (강함)	20ms
Red	±35cent 이상	< 5ms	4.5~5g (강함)	60ms

예를 들면, '높은 도'의 이상적인 주파수는 약 522.57 Hz이며, 학습자가 535 Hz의 주파수로 연주를 할 경우 약 40cent(반음의 40%) 정도의 오차를 가지게 된다. 따라서 왼팔 상, 하단의 진동자가 모두 강하게 진동하게 된다.

3. 사용자 평가 실험

3.1. 실험 개요 및 방법

실험에 사용된 시스템은 안드로이드 태블릿(삼성 Galaxy Tab 10.1)과 진동자 (TactileLabs, Haptuator)가 부착된 2

1) 반음의 100분의 1, ±50 cent면 반음의 경계에 해당한다.

개의 압 밴드를 이용하여 구현되었다. 실험은 총 18명 (남 13 여 5, 17~25세, 평균 19.89, 경력 3~30개월, 평균 15.39)의 비전공자 대학생들을 대상으로, 9명씩 균등하게 햅틱 군과 시각 군으로 나눠 진행하였다. 햅틱 군과 시각 군은 각각 동일한 태블릿에 구현된 HapTune 시스템과 크로매틱 튜너로부터 연주 음정에 대한 피드백을 제공받았다. 실험에서는 매일 1시간씩, 총 5일간에 걸쳐 마 장조 (E Major)의 온음, 반음 스케일¹⁾과 아르페지오²⁾를 자유롭게 연습하였으며, 매 실험의 시작과 종료 시 3개의 악보를 차례대로 연주하도록 하고 이를 녹음, 녹화하여 분석함으로써 매일 동일한 악보의 연주 음정의 오차를 측정하였다. 또, 실험 전후로 장치의 도움을 받지 않은 연주 음정의 오차 또한 측정하였다.

3.2. 실험 결과 및 고찰

실험 결과는 아래 그림 3과 4 에 그래프로 나타내었다. 시각 군과 햅틱 군 모두 음정의 오차가 점차 줄어드는 것을 확인할 수 있었으나, 실험 전과 실험 종료 후의 결과에서 두 방법 간에 유의미한 차이를 보이지는 않았다. ($F=0.778$, $p=0.384$) 또, 연주 중 중간 멈춤(pause)이나 잘못된 자세는 시각 군에서 더 자주 발생하였지만, 전체 실험 기간에서 나타난 멈춤 횟수($t=1.403$, $p=0.1795$)와 자세 오류 횟수($t=1.471$, $p=0.1606$)에 대한 통계 분석 결과 유의미한 차이를 나타내지는 않았다.

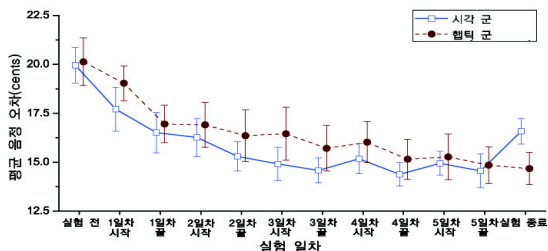


그림 3. 피실험자의 평균 음정 오차의 변화 양상. 실험이 진행됨에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 피드백 장치를 제거한 경우 시각 군에서 오차가 확연히 증가하는 것을 확인할 수 있다.

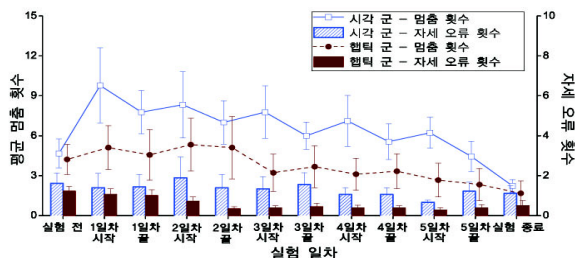


그림 4. 실험 중 피실험자의 멈춤(pause)횟수와 자세 오류 횟수. 햅틱 군의 멈춤 및 자세 오류 횟수가 적게 나타났다.

실험 결과, HapTune 시스템은 기존 크로매틱 튜너에 떨어지지 않는 교육 효과를 보여주었으며, 잘못된 자세의 발생

1) 음정이 연속적으로 오르거나 내려가는 연습용 악보
2) 도-미-솔-도와 같이 화음을 풀어쓰기 한 악보.

빈도와 독보를 방해받음으로 인하여 발생하는 중간 멈춤 (pause) 또한 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 또, 주목할 만한 것으로, 그림 3의 평균 오차의 그래프에서, 보조 장치를 제거한 결과 시각 군의 평균 음정 오차가 크게 증가함을 확인할 수 있었다. 이는 교육 장치의 의존(dependency) 효과가 나타났다고 볼 수 있다. 즉, 학습자가 음정 교정 과정에서 손가락의 정확한 위치를 기억하는 대신 화면을 보고 맞추는 데 익숙해짐으로써 시각 피드백을 제거하자 적응하지 못하고 오차가 크게 증가한 것으로 볼 수 있다. 반면, 햅틱 군에서는 이러한 의존 효과가 나타나지 않았는데, 햅틱 피드백 자극은 화면이 주어지지 않기 때문에 햅틱 신호에 따라 음정 교정 과정에서 손가락의 정확한 위치를 기억하는데 더 집중할 수 있도록 유도하였기 때문으로 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 햅틱 피드백을 이용한 현악기의 음정 교육 시스템을 소개하고 사용자 평가 실험을 통하여 그 효용성을 확인하였다. 통계적인 유의미성을 보이지는 못하였지만, 크로매틱 튜너의 단점인 자세 오류를 유도하는 것과 악보 읽기를 방해한다는 점을 잘 보완하면서도 대등한 교육효과를 보임을 확인할 수 있었다.

참고문헌

[1] J. Konczak, J.P. van de Geer, H. der Velden and L. Jaeger, "Learning to play the violin: Motor control by freezing, not freeing degrees of freedom," J of Motor Behavior 41, 3(2009), 243-252.
 [2] J. Yin, Y. Wang and D. Hsu, "Digital Violin Tutor: An integrated system for beginning violin learners," Proc. of ACM MM 2005, 976-985.
 [3] K. C. Ng, T. Weyde, O. Larkin, K. Neubarth, T. Koerselman and B. Ong, "3D augmented mirror: a multimodal interface for string instrument learning and teaching with gesture support," Proc. of ACM ICMI 2007, 339-345.
 [4] Rubato Productions, "Concert Hands," <http://concerthands.com>
 [5] I. Lee and S. Choi, "Effects of multi-modal guidance for the acquisition of sight reading skills: A case study with simple drum sequences," Proc. of IEEE WHC 2013, 571-576.
 [6] J. van der Linden, E. Schoonderwaldt, J. Bird and R. Johnson, "Musicjacket-combining motion capture and vibrotactile feedback to teach violin bowing," IEEE TIM 60, 1 (Jan 2011), 104-113.