

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제22권 제2호, 2017년 3월 (JBE Vol. 22, No. 2, March 2017)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2017.22.2.173>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

스마트폰을 위한 악기 변환 기반의 음악 합주 애플리케이션 개발

장원^{a)}, 조효진^{a)}, 신성현^{a)}, 박호중^{a)‡}

Musical Instrument Conversion based Music Ensemble Application Development for Smartphone

Won Jang^{a)}, Hyo-Jin Cho^{a)}, Seong-Hyeon Shin^{a)}, and Hochong Park^{a)‡}

요 약

본 논문에서는 스마트폰을 위한 악기 변환 기반의 음악 합주 애플리케이션을 제안한다. 기존 스마트폰 애플리케이션의 가상 악기를 사용하여 음악을 합주하려면 모든 악기의 연주 방법을 알아야 한다. 또한, 스마트폰의 한 화면에 특정 가상 악기 전체를 표현할 수 없는 경우에는 해당 악기를 자연스럽게 연주하기 어려운 문제가 있다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 어쿠스틱 기타를 연주하여 사운드를 녹음하고, 녹음된 사운드를 각각 다른 악기 사운드로 변환하여 원하는 악기 사운드를 얻고, 각 악기에 따른 효과를 적용하고, 최종적으로 모든 사운드를 합성하여 합주 사운드를 생성하는 음악 합주 애플리케이션을 제안한다. 제안한 애플리케이션을 사용하면 어쿠스틱 기타 한 대만을 연주하여 혼자서 합주 음악을 생성할 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose a musical instrument conversion based music ensemble application for smartphone. If we try to create ensemble music using virtual instruments provided by the conventional smartphone application, we should know how to play each instrument. In addition, it is impossible to play the instrument in a natural way if the smartphone screen cannot show the entire part of the instrument. To solve this problem, in this paper, we propose a smartphone application that records music sound by playing an acoustic guitar, converts it to other instruments' sound, applies effect to the converted sound, and creates a final ensemble music after mixing all sounds. Using the proposed application, the user can create ensemble music only by playing the acoustic guitar.

Keyword : music ensemble, smartphone application, instrument conversion, mixing

a) 광운대학교 전자공학과(Dept. of Electronics Engineering, Kwangwoon University)

‡ Corresponding Author : 박호중(Hochong Park)

E-mail: hcpark@kw.ac.kr

Tel: +82-2-940-5104

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1600-6610>

※ 본 논문은 2017년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

· Manuscript received January 10, 2017; Revised March 9, 2017; Accepted March 9, 2017.

I. 서론

여러 대의 악기를 동시에 연주하는 음악 합주 (music ensemble)는 밴드 음악이나 오케스트라 등 다양한 분야에서 활발하게 이뤄지고 있다. 최근 밴드 음악이 인기를 끌며 합주에 대한 관심이 커지면서 일반인의 진입이 증가하고 있다. 그에 맞춰 음악 합주를 돕는 스마트폰 애플리케이션들이 많이 개발되고 있다^[1].

음악 합주를 돕는 애플리케이션은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 실제 악기를 사용하는 애플리케이션이다. 대표적으로 믹서 (mixer) 애플리케이션이 있으며, 독립된 두 가지 이상의 음원을 혼합해 하나의 합주 출력을 만드는 기능을 제공한다. 이 애플리케이션은 필요한 모든 악기를 실제 보유하고 각 악기를 연주할 줄 알아야 한다는 문제점을 가진다. 두 번째는 가상 악기를 사용하는 애플리케이션이다. 대표적인 예로 Garage Band가 있으며, 드럼, 기타, 스트링, 키보드 등의 가상 악기를 사용하여 녹음하고 합주 음원을 생성할 수 있다. 그러나 가상 악기를 사용하더라도 각 악기를 연주할 줄 알아야 한다는 문제점은 해결되지 못한다. 또한, 가상 악기를 사용하면 자연스러운 연주가 힘들다는 단점도 있다. 예로, 키보드처럼 좌우로 매우 긴 악기는 스마트폰의 제한된 화면에 악기 전체를 담을 수 없으므로 자연스러운 연주를 할 수가 없고, 기타와 같은 악기는 양손을 복잡하게 사용하여 연주하는데 단일 스마트폰으로는 한 손으로 줄을 잡고 다른 손으로 줄을 튕기는 실제 기타 연주 방식을 제대로 구현할 수 없으므로 자연스러운 연주가 어렵다.

이런 문제점들을 해결하기 위해 본 논문에서는 스마트폰을 위한 악기 변환 기반의 음악 합주 애플리케이션을 제안한다. 제안하는 애플리케이션은 가상 악기가 아닌 실제 악기 하나를 연주하여 사운드를 녹음하고, 녹음된 사운드를

다른 악기 사운드로 변환하는 방식으로 원하는 악기 소리를 생성한다. 기본으로 사용할 악기는 멜로디와 화음 연주가 모두 가능하며 보편적인 악기인 어쿠스틱 기타로 한다. 먼저, 어쿠스틱 기타로 각 악기별 악보를 연주하고 애플리케이션을 사용하여 사운드를 녹음하고, 녹음된 사운드를 원하는 악기 사운드로 각각 변환한다. 이때 사용자가 원하는 각종 이펙터 (effector)를 적용할 수 있다. 변환된 각 악기 사운드들을 볼륨 조절을 거쳐 하나로 합성해 최종적으로 혼자서 합주 음악을 생성할 수 있다.

제안하는 애플리케이션을 사용하면 여러 가상 악기를 연주하지 않고 한 가지 실제 악기를 사용해서 녹음한 사운드를 다양한 악기 사운드로 변환하고 합성할 수 있다. 따라서 기본이 되는 악기인 어쿠스틱 기타만 연주할 줄 알면 많은 악기를 보유하고 그 악기들을 모두 연주할 줄 알아야 하는 기존 음악 합주 애플리케이션의 문제점을 해결할 수 있다. 또한, 실제 악기로 연주하여 녹음하므로, 가상 악기를 사용했을 때보다 자연스러운 합주 효과를 얻을 수 있다. 그리고 사운드에 왜곡 (distortion), 컴프레서 (compressor) 등 다양한 이펙터들을 적용할 수 있도록 하여 다채로운 음악을 만들 수 있다. 그러나 제안하는 애플리케이션은 간단한 악기 변환 기술만을 사용하므로 실제 악기와 완벽히 일치하는 음색을 생성하지 못하는 한계를 가지고, 단지 전기 기타, 베이스, 건반 악기와 유사한 음색을 청취자가 느끼도록 하는 것을 목표로 한다.

II. 제안하는 악기 변환 및 합성 방법

1. 전기 기타로 변환

전기 기타와 어쿠스틱 기타는 줄의 개수와 각 줄의 피치

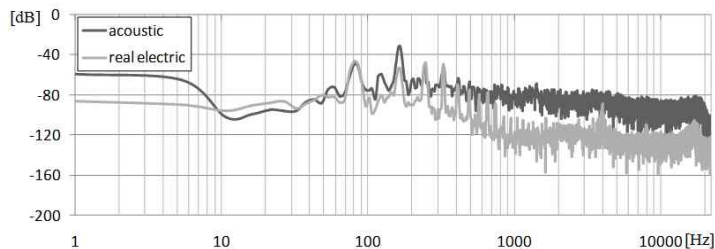


그림 1. 어쿠스틱 기타 사운드와 전기 기타 사운드의 스펙트럼

Fig. 1. Spectrum of acoustic guitar sound and electric guitar sound

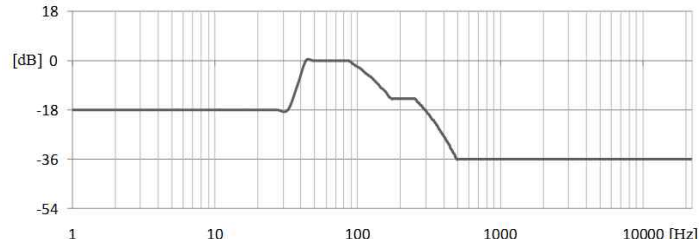


그림 2. 어쿠스틱 기타 사운드를 전기 기타 사운드로 변환하기 위한 이퀄라이저
 Fig. 2. Equalizer for converting acoustic guitar sound to electric guitar sound

가 같다. 따라서 음색을 결정하는 스펙트럼만 조절해 어쿠스틱 기타 사운드를 전기 기타 사운드와 유사하게 변환한다. 그림 1은 어쿠스틱 기타 사운드와 전기 기타 사운드의 스펙트럼이다. 두 스펙트럼의 차이를 보정하기 위하여 그림 2와 같은 이퀄라이저를 어쿠스틱 기타 사운드에 적용해 전기 기타 사운드를 생성한다.

2. 베이스로 변환

어쿠스틱 기타의 6줄 중에서 낮은음을 내는 4줄의 피치는

베이스의 전체 4줄의 피치와 정확히 1옥타브 차이가 난다. 따라서 어쿠스틱 기타의 아래 4줄만 사용해 연주하여 사운드를 녹음하고, 피치를 1옥타브 내린 후에 전기 기타와 마찬가지로 스펙트럼을 변화시켜 베이스 사운드를 생성한다. 단순히 재생 속도를 조절하는 방법으로 음원의 피치를 변환시킬 수 있지만, 재생 속도의 변화는 원하는 결과가 아니므로, 시간 스트레칭 (time stretching)과 리샘플링의 두 가지 단계를 거쳐 재생 속도를 유지하면서 음원의 피치를 변환한다²⁾.

그림 3은 시간 스트레칭의 핵심 기술인 SOLA (synchronous overlap and add) 동작을 보여준다. 입력 파형을 서로

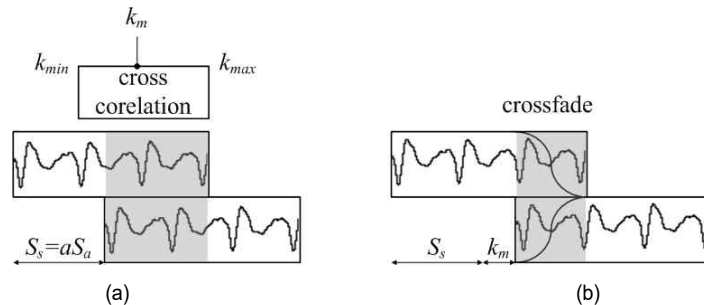


그림 3. SOLA를 사용하여 음원의 피치를 변화시키는 과정 (a) 상호상관도 계산 및 블록 동기화. (b) 크로스페이드 및 중첩합산
 Fig. 3. Process for pitch shifting of music source using SOLA (a) Computation of cross-correlation and block synchronization. (b) Crossfading and overlap-add

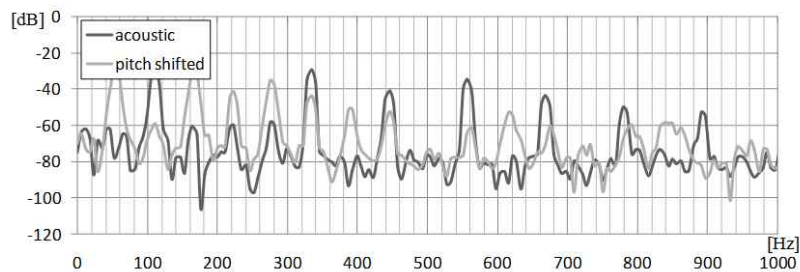


그림 4. 피치 이동에 따른 스펙트럼 변화
 Fig. 4. Spectrum modification by pitch shifting

중첩된 블록별로 나눈 후에 그림 3(a)와 같이 계수 a 를 조절하여 필요한 만큼 블록별로 위치를 이동하고, 중첩 구간을 블록들의 상호상관도가 가장 높은 지점으로 미세하게 조정하여 음이 끊어지는 블록 현상을 제거한 후 그림 3(b)와 같이 두 블록을 중첩 합산해 출력 파형을 만드는 기술이다^[3].

시간 스트레칭의 결과로 시간 축 길이가 달라지지만, 음원의 피치는 이전과 같이 유지된다. 따라서 변환된 시간 축 길이의 역수의 비로 리샘플링을 거치면 그림 4와 같이 시간 축 길이는 이전과 같고 피치는 변화하는 피치 이동이 완료된다.

피치를 1옥타브 낮추기 위해선 신호의 주기를 2배로 늘려야 한다. 이를 위해 SOLA의 계수 a 를 0.5로 정해 시간

축 길이를 절반으로 좁히고, 그 역수인 2배로 리샘플링을 거쳐 시간 축 길이를 원본과 같이 유지하고 신호의 주기를 2배로 늘린다.

피치 이동 후 전기 기타와 마찬가지로 피치 이동된 사운드의 스펙트럼을 그림 5의 베이스 스펙트럼과 유사하게 변환한다. 그림 6은 어쿠스틱 기타 사운드를 베이스 사운드로 변환하기 위해 적용한 이퀄라이저이다.

3. 키보드로 변환

키보드는 건반 악기이므로 앞의 현악기들과는 음의 발생

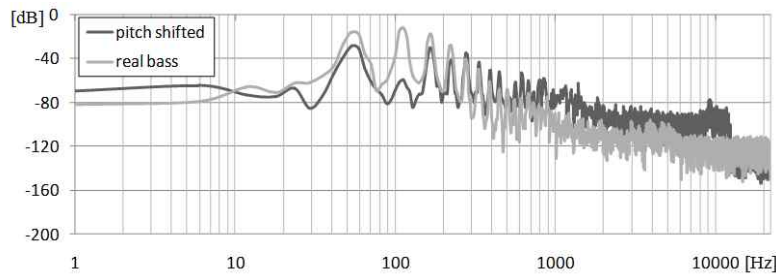


그림 5. 피치 이동이 완료된 어쿠스틱 기타 사운드와 베이스 사운드의 스펙트럼
Fig. 5. Spectrum of pitch-shifted acoustic guitar sound and bass sound

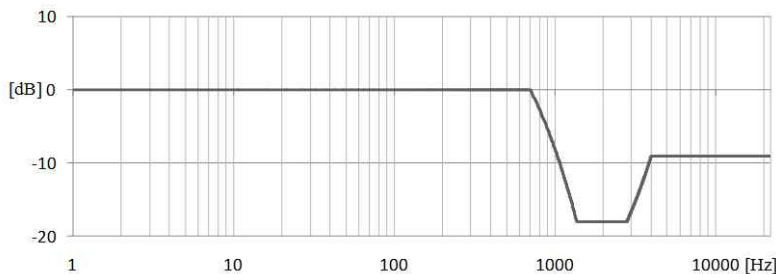


그림 6. 어쿠스틱 기타 사운드를 베이스 사운드로 변환하기 위한 이퀄라이저
Fig. 6. Equalizer for converting acoustic guitar sound to bass sound

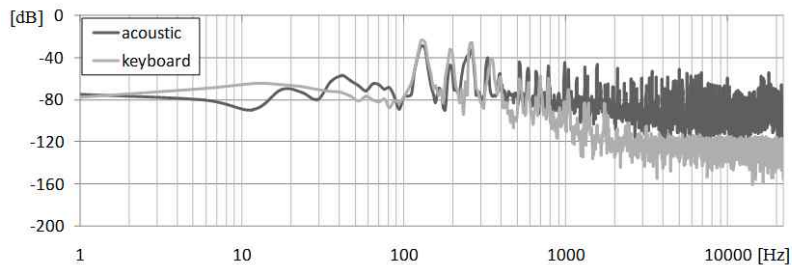


그림 7. 어쿠스틱 기타 사운드와 키보드 사운드의 스펙트럼
Fig. 7. Spectrum of acoustic guitar sound and keyboard sound

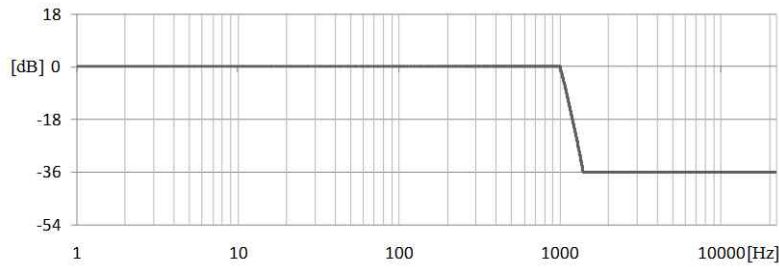


그림 8. 어쿠스틱 기타 사운드를 키보드 사운드로 변환하기 위한 이퀄라이저
 Fig. 8. Equalizer for converting acoustic guitar sound to keyboard sound

과정에서 큰 차이를 가진다. 이를 해결하기 위해 녹음할 때 줄을 튕기는 음색이 최대한 들리지 않게 어쿠스틱 기타를 연주한다. 그 후 사운드 스펙트럼을 그림 7의 키보드 스펙트럼과 유사하게 변환한다. 그림 8은 어쿠스틱 기타 사운드를 키보드 사운드로 변환하기 위해 적용한 이퀄라이저이다.

4. 드럼

드럼은 리듬 악기이므로 멜로디 악기인 기타 사운드를 변환하여 드럼 사운드를 생성할 수 없다. 따라서 드럼은 독립 가상 악기로 구현하고 직접 가상 드럼을 연주하여 드럼 사운드를 생성한다. 애플리케이션 화면에서 드럼의 각 파트의 버튼을 누르면, 누른 시간과 버튼의 종류를 저장해 자체적으로 드럼 사운드를 생성해 저장하는 방식으로 드럼의 사운드 생성 알고리즘을 구현하였다.

5. 이펙터

이펙터란 보컬의 음성 또는 악기 사운드를 변화시켜 처음에는 없었던 여러 가지 효과를 연출하는 장치를 말한다.

제안하는 애플리케이션을 사용하면 밴드 음악에서 대표적으로 쓰이는 5종류의 이펙터를 적용할 수 있다.

5.1 잔향

잔향 (reverberation)은 콘서트홀과 같은 공간감을 생성하는 효과이다. 그림 9는 특정 방에서 임펄스 음을 가했을 때의 반사 파형을 녹음한 공간 임펄스 응답이다⁴⁾. 원 신호에 공간 임펄스 응답과의 컨벌루션을 적용하여 잔향 효과를 구현한다. 다른 공간 임펄스 응답을 사용하면 이를 녹음한 방의 환경에 따라 다양한 잔향 효과를 적용할 수 있다. 시간 축에서 바로 컨벌루션을 하면 연산 속도가 매우 느린 단점이 있어, FFT (fast Fourier transform)를 거쳐 주파수 영역에서 곱 연산을 해 고속 처리한다.

5.2 지연

음원에 지연 (delay) 효과를 적용하면 동굴에서 메아리가 울리는 효과를 얻는다. 임펄스의 주기와 레벨이 감소하는 정도를 달리하는 공간 임펄스 응답을 사용하면 각 계수에 따라 지연 효과를 조절할 수 있으며, 잔향 효과에서 사용했던 동일한 컨벌루션 방법을 적용한다. 그림 10과 같이 점점

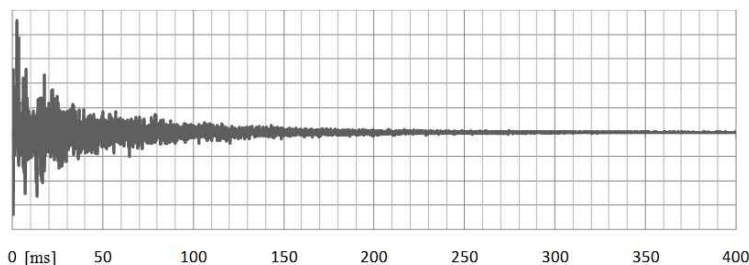


그림 9. 잔향 효과를 위한 공간 임펄스 응답의 예
 Fig. 9. Example of room impulse response for reverberation effect

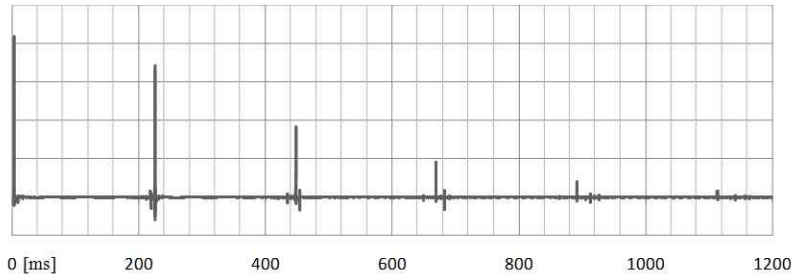


그림 10. 지연 효과를 위한 공간 임펄스 응답의 예
Fig. 10. Example of room impulse response for delay effect

작아지는 임펄스로 이루어진 공간 임펄스 응답과 원본 음원과의 컨벌루션을 구하여 지연 효과를 구현한다^[5].

5.3 비선형 처리 이펙터

시간 축 입출력 특성을 비선형 처리하는 효과로 왜곡, 오버드라이브 (overdrive), 컴프레서 등이 있다. 이들 중 왜곡은 시간 축에서의 출력 파형을 변조하여 일그러진 소리를 만드는 효과이다^[6]. 입력 신호의 크기에 따른 변화를 주어 사운드의 왜곡과 잡음을 발생시킨다. 이 변화의 정도 및 형태에 따라 수많은 종류의 입출력 함수를 정할 수 있는데, 본 애플리케이션에서 적용한 왜곡 효과의 입출력 함수는 식 (1)과 같으며, 계수 C 를 조절해 왜곡의 정도를 정할 수 있게 하였다. 계수 C 의 기본값으로 0.95를 사용하였다. 그림 11(a)는 왜곡 효과의 dB 단위 입출력 그래프이고, 계수 C 에 따른 입출력 그래프의 변화를 나타내고 있다.

$$f(x) = \text{sgn}(x)(1 - Ce^{-|x|}) \quad (1)$$

오버드라이브 효과를 가하면 왜곡 효과와는 다른 느낌의

변조를 얻을 수 있고, 잡음이 발생하지 않는다^[6]. 오버드라이브 효과도 왜곡과 마찬가지로 여러 입출력 함수가 존재하고, 본 애플리케이션에서 적용한 오버드라이브 효과의 입출력 함수는 식 (2)와 같다. 일정 크기 이상의 입력을 특정 값으로 고정하여 왜곡과는 다른 느낌의 변조를 얻을 수 있다. 그림 11(b)는 오버드라이브 효과의 dB 단위 입출력 그래프이다.

$$f(x) = \begin{cases} 2x & \text{for } 0 \leq x \leq 1/3 \\ \frac{3 - (2 - 3x)^2}{3} & \text{for } 1/3 \leq x \leq 2/3 \\ 1 & \text{for } 2/3 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

컴프레서는 일정 임계점 이상의 소리를 줄여주는 역할을 한다. 임계점과 기울기를 변수로 받아서, dB 단위의 입력 신호를 변환시키는 방법으로 구현한다. 그림 11(c)는 컴프레서 효과를 적용한 예시를 dB 단위로 나타낸 입출력 그래프이다. 컴프레서 임계점 (compressor threshold, CT)인 -30dB을 넘는 입력에 대해서는 입출력의 기울기가 1보다 낮은 컴프레서 기울기 (compressor slope, CS)를 갖도록 한다.

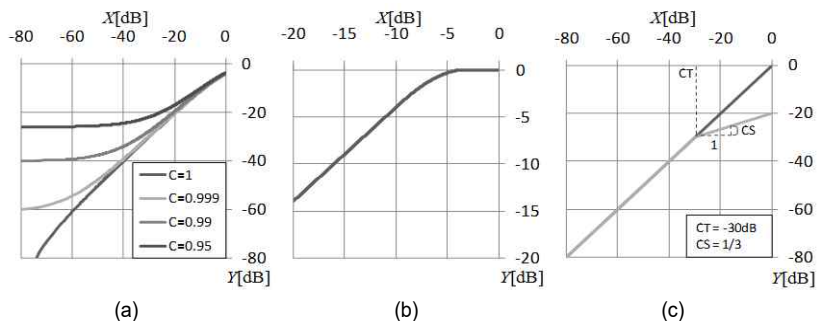


그림 11. 비선형 처리 효과들의 입출력 특성 그래프 (a) 왜곡. (b) 오버드라이브. (c) 컴프레서
Fig. 11. Input/output characteristic graph of nonlinear processing effects (a) Distortion. (b) Overdrive. (c) Compressor

6. 음원 합성

앞에서 변환한 사운드들을 dB 단위의 볼륨 조절을 거친 후 합 연산으로 합성해 하나의 합주 사운드를 완성한다. 이 과정에서 기기가 최대로 처리할 수 있는 신호의 진폭 수준을 넘어가게 되어 발생하는 현상인 클리핑이 발생할 수 있다. 클리핑이 발생하면 사운드 특성이 왜곡되므로 음악의 품질을 매우 떨어트리게 된다. 컴프레서를 사용해서 클리핑이 생기는 부분의 크기를 제한하여 문제를 해결한다.

III. 제안하는 애플리케이션의 구현

제안하는 악기 변환 기반의 음악 합주 애플리케이션을 실제 상용 스마트폰을 사용하여 구현하였다. 이 애플리케이션은 안드로이드 OS 환경에서 동작하고 모든 응용 프로그램 코드는 Java eclipse 기반으로 개발하였다.

그림 12는 제안하는 애플리케이션의 전체 동작 순서를 흐름도로 나타낸 것이다. 먼저, 변환을 원하는 악기를 선택하고 해당 악기의 악보를 어쿠스틱 기타로 연주하여 사운드를 녹음한다. 다음, 녹음된 어쿠스틱 기타 사운드를 해당 악기 사운드로 변환하고 원하는 이펙터를 적용한다. 또한,

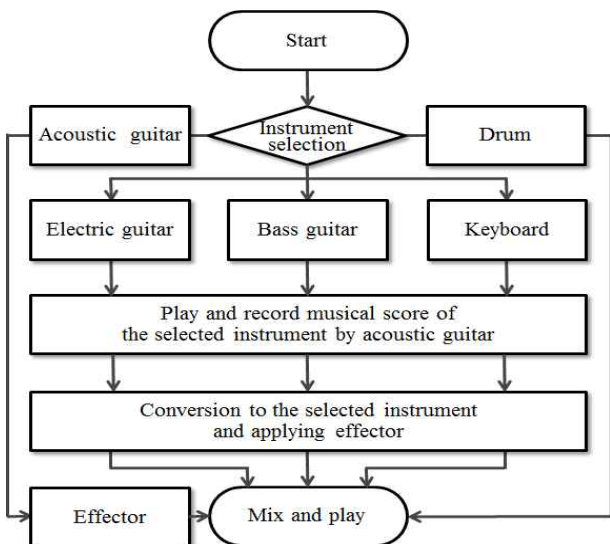


그림 12. 제안하는 음악 합주 애플리케이션의 동작 흐름도
 Fig. 12. Flowchart of the proposed music ensemble application

가상 드럼을 연주하여 드럼 사운드를 녹음한다. 마지막으로, 드럼 사운드와 변환된 악기 사운드들을 하나의 사운드로 합성해 최종 합주 사운드를 생성한다.

그림 13은 구현한 애플리케이션을 구동 중인 스마트폰의 실제 화면들을 보여준다. 그림 13(a)는 기능을 선택하는 초기 화면이다. 녹음, 변환 및 합성, 부가 기능 중 하나의 항목을 선택할 수 있다. 녹음 버튼을 선택하면 어쿠스틱 기타, 전기 기타, 베이스, 키보드, 드럼 중에서 원하는 악기를 고르고, 해당 악기의 악보를 어쿠스틱 기타로 연주하여 사운드를 녹음한다. 단, 여기서 드럼은 가상 악기로 구현했으므로 어쿠스틱 기타가 아닌 가상 드럼으로 녹음한다. 변환 및 합성 버튼을 선택하면 앞에서 녹음한 어쿠스틱 기타 사운드로부터 변환하길 원하는 악기를 선택하거나, 합성 화면으로 이동할 수 있다. 변환 화면에서는 사용자가 원하는 이펙터를 추가하여 악기 사운드를 더욱 다채롭게 만들 수 있고, 합성 화면에서는 합성을 원하는 악기를 선택하고 볼륨 조절을 거쳐 하나의 사운드로 합성할 수 있다. 부가 기능을 선택하면 전체 과정과는 별도로 조율기, 메트로놈(metronome), 녹음기 기능만을 따로 사용할 수 있다.

그림 13(b)는 변환하려는 악기를 선택하면 나오는 녹음 화면이다. 녹음 버튼을 누르면 사운드 녹음이 시작된다. 녹음할 때는 다른 악기의 사운드와 박자를 맞추기 위해 메트로놈이 같이 재생되며, 메트로놈의 BPM (bit per minute)을 조절할 수 있다. 메트로놈을 사용할 때는 반드시 이어폰을 사용해서 메트로놈 소리가 녹음되지 않게 해야 한다. BPM은 화면 하단의 바를 이용해 최대 200BPM까지 설정할 수 있다.

그림 13(c)는 녹음된 사운드를 원하는 악기 사운드로 변환하는 화면이다. 사용자가 추가를 원하는 이펙터를 선택하고 Convert 버튼을 누르면 해당 악기로 변환된 사운드가 생성된다. 이펙터는 오버드라이브와 왜곡, 잔향과 지연, 컴프레서 순서로 적용하며, 출력 레벨을 결정하기 용이하도록 컴프레서를 가장 마지막에 적용한다. 또한, 사운드를 변환하기 전과 후의 소리를 각각 재생할 수 있다.

그림 13(d)는 각 사운드 변환을 모두 완료한 후 합성 기능을 선택했을 때 나오는 화면이다. 이 화면에서 합성할 악기 사운드를 선택하고, 악기별 사운드의 볼륨 조절을 거쳐 Mix 버튼을 누르면 선택한 모든 악기 사운드가 합성된 48,000Hz PCM 파일이 생성되며, 합성이 완료된 사운드를 청취할 수 있다.

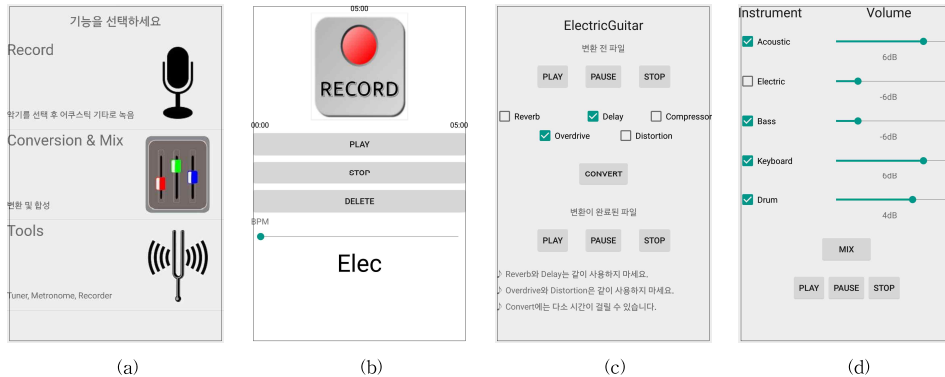


그림 13. 개발한 스마트폰 애플리케이션 동작 화면의 예 (a) 기능을 선택하는 화면. (b) 음원을 녹음하는 화면. (c) 변환 화면. (d) 각 음원을 합성하는 화면
 Fig. 13. Example screen of developed smartphone application (a) Screen for function selection. (b) Screen for sound record. (c) Screen for sound conversion. (d) Screen for sound mixing

IV. 성능 평가

그림 14는 어쿠스틱 기타 사운드에 제안하는 악기 변환 방법을 적용하여 변환한 사운드와 악기별 실제 사운드의

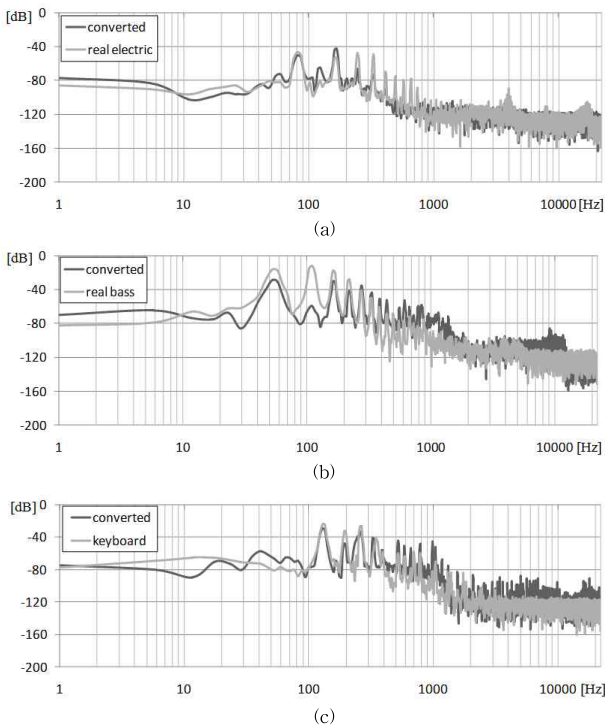


그림 14. 변환된 사운드와 악기별 실제 사운드의 스펙트럼 (a) 전기 기타. (b) 베이스. (c) 키보드
 Fig. 14. Spectrum of converted sound and real sound for each instrument (a) Electric guitar. (b) Bass. (c) Keyboard

스펙트럼이다. 변환한 사운드의 스펙트럼이 각 악기의 실제 사운드의 스펙트럼과 매우 유사함을 알 수 있다. 또한, 실제 사운드를 청취하여 변환된 사운드와 각 악기 실제 사운드의 음색이 유사한 것을 확인하였다. 또한 구현한 이펙터들을 적용하고 사운드를 청취한 결과, 적용한 이펙터와 계수에 따른 각 이펙터의 특성이 정상적으로 구현되어 원하는 효과를 뚜렷이 느낄 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 스마트폰을 위한 악기 변환 기반의 음악 합주 애플리케이션을 제안하였다. 기본으로 사용하는 어쿠스틱 기타 사운드와 변환하려는 악기 사운드의 특성 차이를 보정하여 사운드를 변환하고, 여러 악기로 변환된 사운드를 합성해 하나의 합주 사운드를 만든다. 제안한 시스템을 구동시키기 위해 상용 스마트폰에서 동작하는 애플리케이션을 제작하였다. 개발한 애플리케이션을 사용하면 어쿠스틱 기타 한 대만을 사용해 녹음한 사운드를 다양한 악기 사운드로 변환하고 합성할 수 있다. 그러나 제안 시스템은 간단한 악기 변환 기술만을 사용하므로 목표 악기와 유사한 음색을 생성하는 것만을 목표로 하는 한계를 가진다. 본 논문에서 제안한 기술들을 응용해서 다른 악기를 기본으로 사용하면 밴드 음악뿐만 아니라 오케스트라 등 다른 장르의 음악 합주도 가능한 애플리케이션을 개발할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] Ki-Jun Kim, Chang-Ho Myeong and Hochong Park, "Implementation of stereophonic sound system using multiple smartphones," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol.19, No.6, pp.810-818, November 2014.
- [2] A. von dem Knesebeck, P. Ziraksaz and U. Zölzer, "High quality time-domain pitch shifting using PSOLA and transient preservation," *Proceeding of Audio Engineering Society Convention*, San Francisco, US, pp. 238-241, November 2010.
- [3] Don Henja and Bruce R. Musicus, *The SOLAFS time-scale modification algorithm*, Technical report, BBN, Jul. 1991.
- [4] Jaeyeun Yoon, Junsun Park and Yongok Jin, "A study on the improvement of reverberation characteristics using tapped and nested-allpass delay line," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol.12, No.1, pp. 28-40, January 2007.
- [5] W. G. Gardner, "Efficient convolution without input-output delay," *Journal of Audio Engineering Society*, Vol.43, No.3, pp.127-136, 1995.
- [6] Udo Zölzer, *DAFX - Digital Audio Effects*, John Wiley and Sons, 2011.

저 자 소 개



장 원

- 2017년 2월 : 광운대학교 전자공학과 공학사
- 2017년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 석사과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-4711-780X>
- 주관심분야 : 오디오/음성 신호처리, 딥 러닝



조 효 진

- 2017년 2월 : 광운대학교 전자공학과 공학사
- 2017년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 석사과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-2296-2270>
- 주관심분야 : 오디오/음성 신호처리, 딥 러닝



신 성 현

- 2016년 2월 : 광운대학교 전자공학과 공학사
- 2016년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 석박사통합과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-2343-8983>
- 주관심분야 : 오디오/음성 신호처리, 딥 러닝



박 호 중

- 1986년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학사
- 1987년 12월 : Univ. of Wisconsin-Madison 공학석사
- 1993년 5월 : Univ. of Wisconsin-Madison 공학박사
- 1993년 9월 ~ 1997년 8월 : 삼성전자 선임연구원
- 1997년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-1600-6610>
- 주관심분야 : 오디오/음성 신호처리, 3D 오디오, 음악정보처리