

Pitch Shifting 기법을 사용하는 전자악기에서 Sample Module의 개수를 최소화하는 방안¹⁾²⁾

박진원^o 최제현 김규년

울산대학교 컴퓨터정보통신공학부

zwsonic@shinbiro.com heony@i.am knkim@uou.ulsan.ac.kr

The method to minimize the number of sample modules in the electronic musical instrument using pitch shifting technique

Zin-Won Park^o Jae-Heon Choi Kyoo-Nyun Kim

School of Computer Engineering and Information Technology, University of Ulsan

요 약

현재 사용되고 있는 전자악기는 한 옥타브에 대해 여러 개의 샘플 모듈(sample module)을 메모리에 저장해두면서, 옥타브내의 다른 음들은 그 샘플 모듈을 피치 시프팅(pitch shifting)하여 생성한다[1]. 따라서, 하나의 악기에 대해 많은 샘플 모듈을 사용하게 되고 많은 메모리를 필요로 한다.

본 논문에서는 보다 더 적은 샘플 모듈을 사용하여 메모리를 절약할 수 있는 방법을 연구하였다. 피치 시프팅의 범위를 하나의 옥타브 이내로 제한하지 않고, 피치 시프팅에 의해 발생하는 원음과의 오차 평균을 줄이면서 가장 적절한 샘플 모듈음을 찾아낸다. 본 논문에서는 전자악기의 악기음 중에서 피아노 음을 선택했으며, 피아노의 88개 음들 중에서 피치 시프팅을 했을 때 원음과 가장 가까운 음을 만들어내는 음들을 샘플 모듈로 사용한다. 이러한 방법으로 샘플 모듈음을 선택하면 기존의 전자악기에서 사용하는 샘플 모듈 개수보다 훨씬 적으면서도 동일한 음질을 보장하고, 또한 메모리 공간도 절약할 수 있다.

1. 서론

전자악기에서 악기 음을 낼 때 모든 피치(pitch)의 음을 녹음하여 그 소리를 낸다고 할 경우, 한 옥타브에 12개의 음이 있으므로 7옥타브에서는 총 84개의 샘플 모듈음이 필요하다. 하나의 피치에서 1초 데이터의 샘플 개수가 44100개라고 가정할 때, 하나의 샘플이 16bit인 경우 88200byte의 메모리가 필요하다. 그리고, 7옥타브의 소리를 모두 기억할 경우 6.35Mbyte의 메모리가 필요하다. 보다 많은 악기의 소리를 샘플로 저장하기 위해서는 6.35x(악기 종류 수)Mbyte 만큼의 메모리가 필요하게 된다.

현재 제품화되어 있는 전자 악기는 메모리의 양을 줄이기 위해서 피치 시프팅(pitch shifting)이라는 방법을 사용하는데, 한 옥타브에서 3 개 혹은, 4개의 샘플 모듈을 두어 피치의 비율에 따라 데이터를 추출하면서 피치 시프팅을 한다[2]. 기존의 전자 악기는 샘플 모듈로 사용하는 피치를 세 음마다 하나씩 고정되게 배치하여 많은 메모리를 필요로 하고 음의 왜곡도 크다.

본 논문에서는 피치 시프팅시 데이터의 왜곡을 최소화시키는 방법을 연구하고 데이터를 추출하여 왜곡이 적은 부분에서는 광범위한 옥타브 범위를 두고 피치 시

프팅을 하고, 왜곡이 심한 부분에서는 좁은 옥타브 범위에서 피치 시프팅을 하여 음질을 향상하고 메모리를 절약하는 방법을 제시한다.

2. 연구내용

2.1 기존 전자악기의 피치 시프팅 방법에 대한 분석

아무리 비싼 전자 악기라 할지라도 악기의 모든 음을 저장하고 있을 수 없다. 메모리의 가격이 비싸기 때문에 모든 소리를 녹음해 두는 것은 전자 악기의 가격이 실제 악기보다 비싸게 된다. 따라서, 전자 악기는 몇 개의 샘플들만 녹음을 시켜놓고, 이 음을 이용하여 다른 소리를 만들어 내는 방법을 사용한다[2]. 이러한 방법중 하나가 피치 시프팅(pitch shifting)[1]이다.

아날로그의 음을 녹음하여 디지털 값으로 바꿔주는 장비를 샘플러(sampler)라고 한다. 이런 샘플러를 이용하여 세 번, 혹은 네 번의 반음마다 샘플을 저장한다. 그리고, 메모리에 저장되어 있지 않은 다른 음을 만들어 낼 때에는 가장 근접한 피치의 샘플을 피치 시프팅하여 소리를 만들어 낸다[2].

이러한 피치 시프팅의 알고리즘으로 다음과 같은 방법들이 있다.

2.1.1 DAC의 클럭 주파수를 변화시키는 방법

샘플링(sampling)된 각 음 마다 따로 출력 DAC

1) 정보통신연구진흥원에서 지원하는 대학기초연구지원사업으로 수행
2) 본 연구는 한국과학재단 목적 기초연구(2000-0330)지원으로 수행되었음

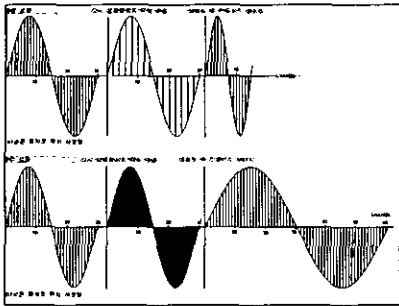
소리를 낸다. DAC는 데이터를 받아서 조합한 후 소리를 만들어 낸다. 이 방법을 쓰는 전자 악기에서 각각의 DAC는 다양한 출력 클럭(clock)을 가지고 다양한 주파수로 연주할 수 있다.

이 방법은 매우 많은 비용이 요구되며 오디오 시스템에 이식하는데 있어서도 많은 어려움이 있다[2].

2.1.2 Sampling Rate를 변화시키는 방법

이 방법은 메모리에 저장된 샘플을 다시 샘플링하는 것이다. 여기에서 사용되는 DAC의 출력 클럭 주파수는 고정되어 있다.

메모리에 저장되어 있는 샘플 데이터보다 높은 피치의 음을 연주하고자 할 때에는 샘플의 추출을 빠르게 진행한다. 즉, 메모리 포인터가 가리키는 데이터를 사용한 뒤 바로 다음 데이터를 사용하는 것이 아니라 포인터를



[그림 1] Sampling rate를 변화시키는 피치 시프팅

일정한 비율로 이동한 후 다시 샘플링 한다(그림 1).

이 방법에는 문제점이 있다. 그것은 바로 메모리의 샘플값을 그대로 가져와서 다시 샘플링하기 때문에, 다시 샘플링해 오는 데이터와 요구되는 피치의 실제 데이터 사이에 차이가 있다는 것이다. 이러한 점을 보완하는 방법으로 interpolated pitch shifting[2]이 있다.

2.2 샘플 모듈을 최소화하는 방법의 고안

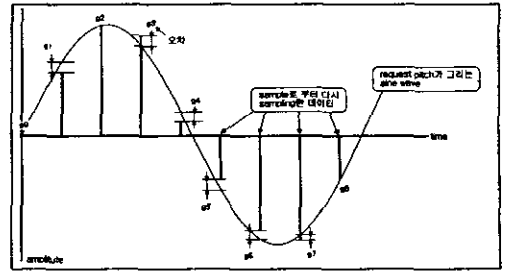
악기들의 음을 수치화 시켜서 그래프로 그려보면 다양한 모습을 나타내지만, 커다란 틀은 사인 파형(sine wave)의 모양을 그린다. 그리고 이 사인 파형은 모든 악기에 동일하게 나타나는 형태이다.

우선 사인 파형을 바탕으로 실험을 한 후 타당성을 검증하고 실제 악기(피아노)의 데이터에 적용해 본다.

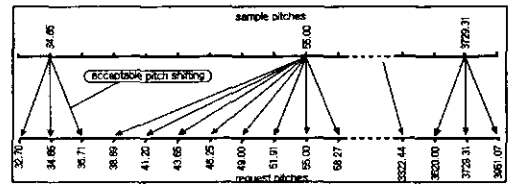
2.2.1 사인 파형을 이용한 새로운 피치 시프팅 방법

피치 시프팅 방법으로 하나의 음을 만들어 낸 경우, 실제 그 음과는 소리값에 오차가 생기게 된다. 예를 들어, C4음을 샘플 모듈로 사용하여 피치 시프팅해서 E4음을 만들었다고 하자. 만들어진 E4음과 원래 E4음사이에는 약간의 오차가 발생하게 된다. [그림2]는 이러한 오차가 발생하는 것을 보여준다.

본 논문에서는 전자악기에서 사용하는 방법이 발생시키는 오차보다 더 적은 오차를 내면서, 샘플 모듈이 속한 옥타브뿐만 아니라 다른 옥타브 내의 음들도 피치 시프팅할 수 있도록 적용하였다. [그림3]은 이러한 개념을 보여준다.



[그림 2] Resampling한 사인 파형이 나타내는 오차



[그림 3] Acceptable sample pitches

2.2.2 실험 조건 및 결과

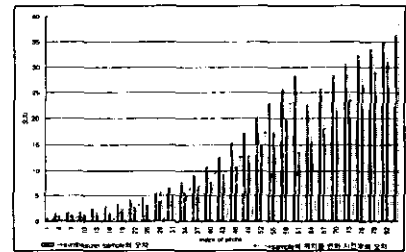
본 연구에서는 다음과 같은 환경에서 실험하였으며, 오차를 최소한으로 줄이기 위해 interpolated pitch shifting[2]을 적용하였다.

- ① sampling rate: 44100/sec (CD와 동일)
- ② 데이터 개수: 44100개
- ③ 데이터 minimum: -32767
- ④ 데이터 maximum: +32767
- ⑤ minimum pitch: 32.70Hz
- ⑥ maximum pitch: 4186.01Hz
- ⑦ 데이터 표본 오차 산출 방법:

$$\sqrt{\sum (D1-D2)^2 / \text{Sample개수}}$$

D1: request pitch의 실제 데이터

D2: sample을 request pitch로 pitch shifting한 데이터



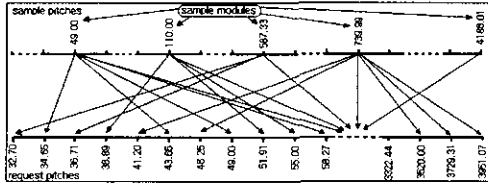
[그림 4] 전자악기와 새로운 방법과의 오차 비교

본 연구에서 고안한 방법을 사인곡선에 적용하여 [그림4]와 같은 결과를 얻었다. [그림4]에서, 막대모양의 그래프는 일반적인 전자악기(예: 신디사이저)의 피치 시프팅 방법으로 각각의 음들을 만들었을 때 실제 각각의 원음과 만들어진 음과의 오차를 나타낸다. 점 모양의 그래프는 본 연구에서 고안한 방법을 적용하였을 때 발생

한 오차를 나타낸다. 그림에서도 알 수 있듯이 기존의 전자악기에서 사용하는 방법보다 본 논문에서 고안한 방법이 더 적은 오차를 나타낸다. 즉, 더 적은 개수의 샘플로 모든 음들을 만들 수 있다.

2.2.3 데이터 베이스를 이용한 피치 시프팅

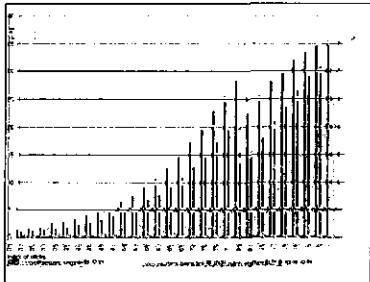
기존의 전자악기에서는 샘플이 속한 옥타브내의 음들만 피치 시프팅으로 만들어 사용한다[3]. 본 연구에서는 샘플이 다른 옥타브에 속한 음들도 피치 시프팅할 수 있도록 적용하였다. [그림5]는 그러한 개념을 보여준다.



[그림 5] 데이터베이스를 이용한 피치 시프팅

[그림5]에서, 110.0Hz의 샘플 피치가 여러 옥타브에 걸쳐서 피치 시프팅하여 음을 만들어 내는 것을 알 수 있다. 이 방법은, 모든 음들을 샘플 피치로 사용하여 모든 음으로 피치 시프팅한 데이터를 얻고 오차를 계산한다. 그 다음, 가장 적은 오차를 가지는 샘플 피치들의 리스트를 만든다면 원음과 가장 가까운 소리를 만들어 낼 수 있다.

이러한 방법으로 동일한 실험을 한 결과, [그림6]과 같은 오차 그래프를 얻었다.

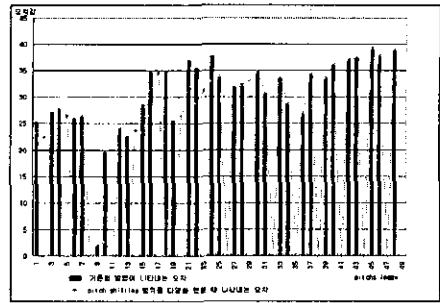


[그림 6] 데이터 베이스를 이용한 경우의 오차 비교

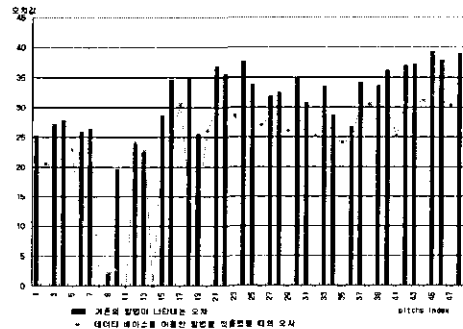
[그림6]과 [그림4]를 비교해보면, 데이터 베이스를 이용하여 피치 시프팅을 한 [그림6]이 더 적은 오차를 보인다. 따라서, 더 적은 샘플 모듈을 사용할 수 있다.

2.3 실제 악기(피아노)음을 적용한 경우

앞의 연구는 사인 파형을 기본으로 적용하였다. 여기에서는 실제 악기인 피아노의 음들을 샘플로 적용하였을 때 어떤 결과를 보이는지를 실험해본다. 본 실험에서는 C4 ~ B#7 사이의 48개 음을 사용하였다.



[그림 7] 피아노음을 샘플로 한 경우



[그림 8] 피아노음을 사용하여 데이터 베이스 방법을 적용한 경우

[그림7]과 [그림8]에서, 사인 파형 대신 실제 악기를 적용한 경우에도 본 논문에서 제시한 방법이 더 적은 오차를 나타냄을 알 수 있다.

3. 결론 및 향후 연구계획

본 논문에서 제시한 방법으로 실험한 결과, 샘플 모듈의 피치 시프팅 범위를 다양하게 하고, 전체 음 중에서 가장 오차가 적은 음을 샘플 모듈로 사용함으로써, 전자악기에서 사용되는 샘플 모듈을 줄일 수 있다는 결론을 얻었다. 또한, 샘플 모듈을 저장하는 메모리의 양을 줄일 수 있다.

본 연구결과를 바탕으로, 음질 및 음색을 보완하는 방법을 좀 더 연구 한 후, 본 연구의 알고리즘을 하드웨어로 구현하여 샘플 모듈 및 메모리를 훨씬 적게 사용하면서 더 나은 효과를 갖는 전자악기의 설계에 대해 연구할 계획이다.

4. 참고문헌

- [1] Tim Kientzle, "A Programmer's Guide To Sound". Addison-Wesley, Inc. Second Printing February, 1998.
- [2] Curtis Roads with John Strawn, Curtis Abbott, John Gordon, and Philip Greenspun, "The Computer Music Tutorial". The MIT Press.
- [3] Jim Heckroth, "Tutorial on MIDI and Music Synthesis". Crystal Semiconductor Corp. 1995 and 1998 MIDI Manufacturers Association Incorporated