

# TMS320C6713 DSK 를 이용한 가야금 사운드 합성

조상진\*, 오훈\*\*, 정의필\*\*\*  
울산대학교 컴퓨터정보통신공학부

## Sound Synthesis of Gayageum using TMS320C6713 DSK

Sangjin Cho\*, Hoon Oh\*\*, Uipil Chong\*\*\*  
School of Computer Engineering and Information Technology  
University of Ulsan  
E-mail: {\*sjcho75, \*\*hoonoh }@mail.ulsan.ac.kr, \*\*\*upchong@ulsan.ac.kr

### Abstract

In this paper, we implemented a system that is called sound engine in musical synthesizer and synthesized a sound of Gayageum using TMS320C6713 DSK. Sound engine consists of two parts: synthesis algorithm and processor. We improved physical modeling using digital waveguide as a synthesis algorithm and we used TMS320C6713 as a processor. The excitation signals that make timbre are stored in memory. When we input parameters, sound engine synthesizes sound of Gayageum. The experimental result shows that synthesized sounds are very similar to real sounds.

### I. 서론

신호처리기술은 산업 핵심분야에서부터 실생활에 이르기 까지 널리 사용되고 있다. 현대 음악에서도 신호처리기술이 사용되는데, 대표적인 예로 신디사이저를 들 수 있다. 신디사이저는 대부분 건반악기의 외형을 갖추고 있으며 내부는 여러 악기의 사운드를 합성하거나 시스템을 제어하기 위한 프로세서와 코덱 등이 있다. 특히 사운드 합성을 위해 전용 DSP 를 사용하는 경우가 많은데 이는 필터링과 같은 여러 신호처리기술이 적용

되기 때문이다.

신디사이저는 건반, 미디 같은 입출력 시스템과 사운드 합성을 위한 사운드 엔진, 그리고 전체 시스템 제어를 위한 메인 프로세서로 이루어져있다. 이 중에서 사운드 엔진은 신디사이저의 핵심 부분으로 특정 악기의 사운드를 합성하기 위한 알고리즘과 이를 처리할 프로세서 부분으로 나뉜다. 합성 알고리즘에는 샘플링, 주파수 변조(FM), 웨이브 테이블 합성법 등이 주로 사용되는데, 이 중 악기의 음색을 가장 사실적으로 묘사할 수 있는 것은 샘플링 합성법이다. 하지만 여러 가지 방법으로 연주할 수 있는 악기를 표현하기 위해서는 각 연주법에 따른 소리를 다시 샘플링 해야 하는 제한 사항이 있다. 이를 극복할 수 있는 방법이 최근 많은 연구가 진행중인 물리적 모델링(physical modeling)이다 [1]. 이 합성법은 악기의 물리적 현상을 관찰하고 이를 디지털 시스템으로 구현해 악기 음을 합성하므로 합성에 관련된 파라미터를 변경하는 것으로 다양한 소리를 합성 할 수 있다. 이러한 합성 알고리즘은 사운드 엔진의 DSP 칩에서 주로 수행된다. DSP 칩은 신디사이저 제조업체마다 각기 다른 업체의 칩을 선택하여 사용하고 있으며 자체 제작하여 사용하기도 한다.

신디사이저의 기술이 서양을 중심으로 발달하였기 때문에 상용 제품에는 서양악기 위주의 사운드 엔진이

---

본 논문은 과학기술부 과학재단 목적기초연구(R01-2005-000-10671-0)지원으로 수행되었음.

장착되어있다. 본 논문에서는 국악기 위주의 사운드 엔진 개발을 제안한다. 이를 위하여 국악기는 대표적인 현악기라 할 수 있는 가야금을 선택하였으며, 합성 방법은 물리적 모델링으로 디지털 도파관(Digital Waveguide)을 개선시킨 SDL(single delay loop) 모델을 이용하였다[2]. 또한 이 알고리즘을 실시간으로 처리하기 위한 프로세서는 TI(Texas Instruments)사의 TMS320C6713 범용 DSP 칩을 사용하였다.

## II. 사운드 엔진

### 2.1 물리적 모델링

물리적 모델링과 모델 기반 사운드 합성이라는 말이 생기게 된 것은 튜브 현악기의 컴퓨터 시뮬레이션의 발전과 깊은 관련이 있다. 역사적으로는 KS 알고리즘을 시작으로 본 논문에서 사용할 디지털 도파관을 이용한 모델링으로까지 발전하였다.

특정 악기의 사운드를 물리적 모델링 방법으로 합성하기 위해서는 해당 악기의 각 부분을 분석하여 각각을 독립된 시스템으로 만들어야 한다. 현악기의 경우 현의 진동이 브리지를 통해 울림통에 전달되면 이 진동이 울림통에서 공명되어 사운드를 만든다. 따라서 현, 브리지, 울림통이 각각 독립된 시스템으로 구현되고 선형적으로 결합하였을 때 비로소 악기의 사운드가 합성되게 되는 것이다. 본 논문에서는 가야금을 현과 안죽으로 크게 나누고, 울림통은 가야금 몸통의 임펄스 응답을 이용하는 것으로 구현하였다[3].

#### 2.1.1 현의 모델

현의 진동에 의해 발생된 소리를 주파수 영역에서 분석하면 기본 주파수와 그 배음으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 악기 모델링에서는 이러한 현상을 묘사하기 위해 콤파터(comb filter)를 사용한다. 본 논문에서는 콤파터와 함께 식 (1)과 같은 필터를 이용하였다.

$$H_l(z) = \frac{g(1+a)}{1+az^{-L}} \quad (1)$$

여기서  $g$  는 필터의 이득을,  $a$  는 필터의 계수를 나타낸다. 식 (1)은 계수  $a$  에 따라 배음의 주파수 의존 감쇄가 달리 나타난다. 따라서 가야금 현의 진동 감쇄는 계수  $a$  에 의해 묘사할 수 있다.

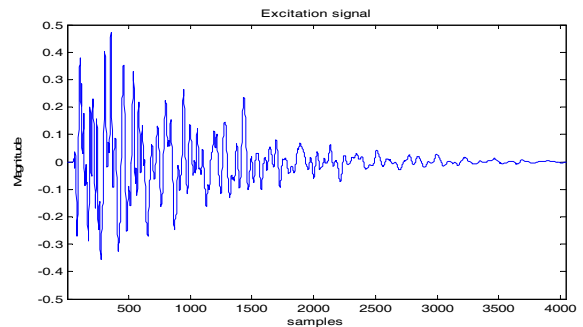


그림 1. 가야금 울림통의 임펄스 응답

컴필터는 지연의 길이로 원하는 기본주파수를 만들 수 있다. 하지만 정수의 지연 길이로는 모든 주파수를 표현할 수 없다. 따라서 실수 지연 길이를 묘사하기 위해서는 지연 길이의 소수점 이하(미소지연:fractional delay)는 따로 처리하여야 한다. 본 논문에서는 라그랑주 보간기(Lagrange interpolator)를 이용하여 미소지연을 처리하였다.

#### 2.1.2 안죽 모델

가야금의 안죽은 현의 진동을 울림통에 전달하는 움직임 수 있는 브리지이다. 고정된 브리지의 경우와 달리 진동을 전달함에 약간의 차이를 보인다. 본 논문에서는 가야금의 안죽 모델을 [3]에서 제안한 모델을 사용하였다.

#### 2.1.3 가야금 울림통

현악기에서 악기의 음색을 결정하는 것은 현을 진동시키는 방법과 현의 재질, 그리고 울림통 재질과 구조이다. 울림통은 현의 모델과 달리 비선형성이 강하여 시스템으로 구현하기가 쉽지 않다. 따라서 여기신호(excitation signal)는 원 악기의 사운드를 역필터링(inverse filtering)하여 배음성분을 제거한 신호나 울림통으로부터 임펄스 응답을 측정하여 사용한다. 본 논문에서는 역필터링을 이용한 신호와 오동나무로 만들어진 산조 가야금의 울림통으로부터 임펄스 응답(그림 1)을 측정하여 여기신호로 사용하였다.

### 2.2 TMS320C6713 DSK

TMS320C6713 DSK 는 225MHz C6713 DSP 와 AIC23 스테레오 코덱, 16Mbyte SDRAM, 512Kbyte Flash 메모리, CPLD, JTAG, LED, DIP 스위치로 구성된다. DSP 는

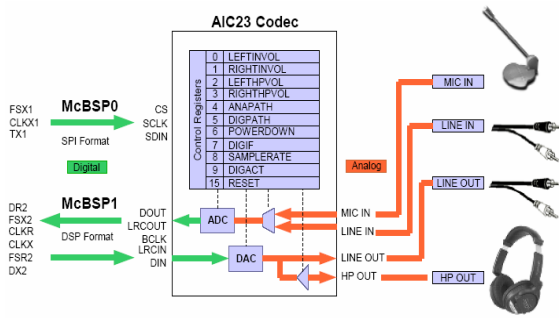


그림 2. TMS320C6713 DSK 코덱 인터페이스

AIC23 을 통해 4 개의 3.5mm 오디오 단자로 연결되어 있으며 32 비트 EMIF(External Memory InterFace)로 보드상의 주변장치와 연결되어있다[4]. 본 논문에서는 CCS (Code Composer Studio)를 이용하여 DSK 를 제어하므로 DSP 가 AIC23 스테레오 코덱과 어떻게 연동하는지에 중점을 두어 설명하고자 한다.

AIC23 스테레오 코덱은 2 개의 시리얼 채널을 이용하여 DSP 와 통신을 한다. 하나는 DSP 가 코덱의 내부 레지스터를 제어하기 위한 것(McBSP0)이고 또 하나는 디지털 오디오 샘플을 송수신 하기 위한 것(McBSP1)이다.(그림 2)

McBSP0 는 단방향 제어 채널로서 SPI 포맷을 갖는 16 비트 제어신호가 사용된다. 상위 7 비트는 볼륨과 샘플링 주파수와 같은 레지스터를 정의하고 하위 9 비트는 해당 값을 포함한다.

McBSP1 은 양방향 채널로서 데이터를 송수신할 때 사용된다. DSK 는 마스터 모드에서 코덱이 16 비트 데이터를 사용하는 일반적인 예를 보여주는데, 이는 DSP 의 도움 없이 프레임 동기화 및 정확한 샘플링 비트 클럭을 발생 시킬 수 있다.

C6713 에는 타이머 인터럽트, 외부 인터럽트, McBSP 인터럽트, DMA 인터럽트를 포함한 16 개의 인터럽트 소스가 있으며 INT4~INT15 를 사용할 수 있다. DSK 에서 McBSP 와 관련된 인터럽트는 INT11 인데 C 프로그램에서 이를 선택하기 위해서 벡터 테이블이 포함된 파일을 작성해야 한다[5].

본 논문에서는 44.1kHz, 16 비트의 가야금 사운드를 합성하기 위해 그림 3 과 같이 프로그램 하였다. 사운드 합성에 필요한 여기신호가 메모리에 저장되고 파라미터가 입력되면 comm\_intr()함수는 DSK 의 DSP 와 코덱을 초기화 시키고 코덱으로부터 McBSP1 을 이용하여

```
#include "dsk6713_aic23.h"
Uint32 fs = DSK6713_AIC23_FREQ_44KHZ;
interrupt void c_int11()
{
    ... // synthesis process
    output_sample();
}
void main()
{
    ... // parameters input
    comm_intr(); // init DSK, codec, McBSP
    ... // detect key pressure (note on)
    while(1)
    {
        ... // check note status
    }
}
```

그림 3. 프로그램 구조

데이터를 송신할 수 있는 이벤트를 발생시킨다. 이 후 INT11 에 의해 이벤트를 수행할 수 있도록 인터럽트를 설정한다. INT11 이 발생하면 c\_int11()함수는 가야금 사운드 합성 알고리즘을 수행하고 output\_sample()함수는 합성된 샘플을 DAC 거쳐 오디오 출력하도록 코덱을 제어한다.

### III. 결과

본 논문에서는 물리적 모델링과 TMS320C6713 DSK 를 이용하여 44.1kHz, 16 비트의 가야금 사운드를 합성하기 위해 [3]에서처럼 역필터링을 이용한 것과 임펄스 응답을 이용한 여기신호를 사용하였다.

가야금은 곡과 연주자에 따라 달리 조율되므로 본 논문에서는 안쪽이 현침으로부터 50cm 정도 떨어진 곳에 있는 6 번 현의 단위음을 합성하였다. 이는 기본 주파수 172Hz 를 갖는다.

입력 파라미터는 식 (1)의 필터계수  $a$  와 이득  $g$  로서 각각 0.75 와 0.99 이다. 역필터링으로 얻은 신호를 여기신호로 하여 합성한 사운드는 그림 4 이고, 가야금 울림통의 임펄스 응답을 이용하여 합성한 사운드는 그림 5 와 같다. 여기신호의 차이로 두 합성신호는 약간의 음색 차이를 보이는데 이는 가야금의 현을 강하게 혹은 약하게 튕는 것 같은 느낌을 갖게 한다[3].

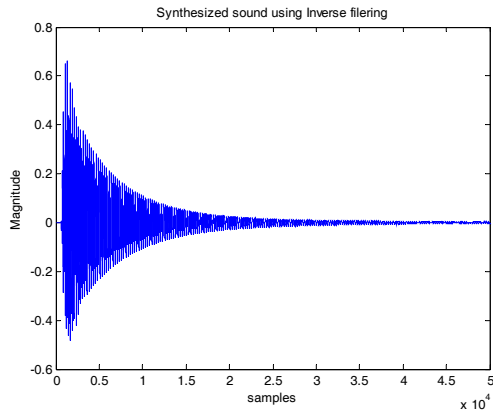


그림 4. 역필터링을 이용한 합성 사운드

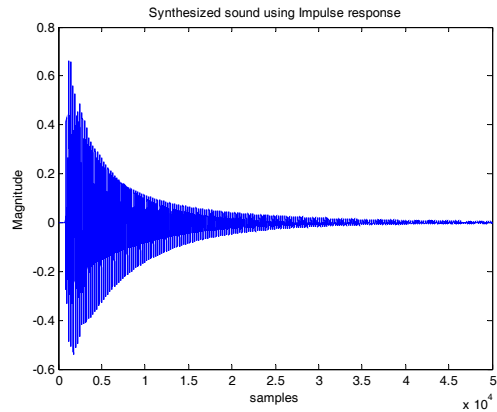


그림 5. 임펄스 응답을 이용한 합성사운드

#### IV. 결론

본 논문에서는 신디사이저의 사운드 엔진 부분을 TMS320C6713 DSK 를 이용하여 구현하였다. 국악 위주의 사운드 엔진을 위해 가야금을 대상 악기로 선정하였고 그 합성 결과는 실제 악기 사운드와 매우 유사하였다. 이는 물리적 모델링을 이용한 국악기 위주의 사운드 엔진 구현에 대한 가능성을 제시한 것으로 향후 국악 신디사이저 제작에 도움이 될 것으로 생각한다. 본 논문에서는 TMS320C6713 DSK 에서 제공한 보드 지원 라이브러리를 사용하였으나 실제 독립된 사운드 모듈이나 임베디드 시스템에 적용될 사운드 엔진 개발을 위해서는 전용 보드 디자인과 이를 통한 라이브러리 개발이 진행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] J. O. Smith, "Physical Modeling using Digital Waveguides," Computer Music J., vol. 16, no. 4, pp. 74~91, 1992.
- [2] M. Karjalainen, V. Valimaki, and T. Tolonen, "Plucked-String Models: From Karplus-Strong Algorithm to Digital Waveguides and Beyond," Computer Music J., vol. 22, no. 3, pp.17~32, 1998.
- [3] 조상진, 정의필, "산조가야금의 물리적 모델링", 한국음향학회지, 제 23 권 제 7 호, pp.521~531, 2004.
- [4] TMS320C6713 DSK Technical Reference, Digital

Spectrum Inc., 2004

- [5] Rulph Chassaing, "Digital Signal Processing and Applications with the C6713 and C6416 DSK," John Wiley & Sons Inc., pp.27~31, 2004.