

## 주파수 분석을 이용한 워킹 비트 게임기 설계 및 구현

이 건 학, 김 도 현, 안 현 식

국민대학교 전자공학과

전화 : 02-918-7267 / 핸드폰 : 016-511-3877

### Design and Implementation of a Walking Beat Game Machine Using Frequency Analysis

Kun-Hak Lee, Do-Hyun Kim, Hyun-Sik Ahn

Dept. of Electronics Engineering, Kookmin University

E-mail : ggum@elco.kookmin.ac.kr

#### Abstract

In this paper, the portable game machine called "Walking Beat" is designed and implemented not only to propose the new possibilities for the peripheral equipment market of portable acoustic machine but also to overcome the limitation of the acoustic simulation game machine such as the existing Beat Mania. The old game machine can be used only in a particular place, where it is installed. However, in order to get over the constraint on this space problem "Walking Beat Game Machine" is designed to facilitate the portability. In addition, the frequency analysis method using FFT algorithm is employed by regarding the music data for the portable digital acoustic machine as source so that the limitation that the existing game machine depends heavily on the previously registered game contents can be overcome.

By making it possible to play games for all the music and putting an emphasis on multimedia trend only to listen to the music, it is speculated that it can contribute to the development of the new culture in the near future.

#### I. 서론

공학의 궁극적 목표는 과학의 지식을 활용하여 인간의 생활을 윤택하게 하는 물질, 제품, 그리고 시스템을 만들어 내는 것으로 인간사회에 들여와 우리의 삶의

질을 높이는 실용적 결과를 얻어내는 것이 최종목표이다[1]. 이런 결과물들은 각종 가전제품이나 자동화기 등으로 대표될 수 있으며, 이 중 게임기도 역시 동일한 개념으로 생각할 수 있다. 특히, 댄스 음악의 열풍이 불기 시작한 90년대 말 일본에서 처음 개발된 비트 매니아(Beat Mania)와 같은 게임기는 음향 시뮬레이션 게임이란 분야를 제시하여 성공한 게임으로 이후 DDR (Dance Dance Revolution)이나 드럼 매니아(Drum Mania)와 같이 이를 응용한 게임들로 거듭나고 있다. 그러나, 기존의 이런 업소용 게임기들은 사전에 프로그래머에 의해 등록된 데이터에만 의존하여 게임을 즐길 수 있고, 기기가 설치되어 있는 곳에서만 게임을 할 수 있다는 단점이 있다. 더불어 근래들어 점점 번성하고 있는 휴대용 기기들의 다기능성과 디지털 음향기기의 일반화는 기존 음향기기에 대한 멀티미디어적 성향을 요구하고 있다.

본 논문에서는 이런 기존 게임들의 단점을 극복하고, 휴대용 음향기기의 주변기기 시장에 대한 새로운 전망을 제시할 수 있도록 실제 음원에 대한 주파수 분석을 통해 비트-바(Beat-Bar)를 생성시키는 비트-바 발생기(Beat-Bar Generator)를 설계하여 워킹 비트(Walking Beat)란 게임기를 구현하고 나아가 상용화하고자 한다.

#### II. 비트-바 발생기

##### 2.1 비트 매니아(Beat Mania) 게임기

비트 매니아(Beat Mania)란 게임기는 정해진 리듬에

맞춰 발생된 비트-바(Beat-Bar)가 6개의 채널을 통해 스크롤이 되며, 기준선에 도착할 때의 순간을 포착하는 일종의 순발력 게임으로 5개의 건반 버튼과 1개의 스크래치 원판(Scratch Disc)으로 조작한다. 여기서 기존의 게임기들은 비트-바를 생성시키기 위해 주파수 분석 등의 기법 등을 이용하지 않고, 게임적 요소만을 고려하여 단순히 비트 음색(Beat Tone)이 발생하는 박자에 맞춰 몇 개의 비트-바를 임의로 작성하여 입력시키는 방식을 이용하였다. 그러나, 이러한 방식은 선정된 몇 개의 음악에 대해서만 적용이 될 뿐 우리가 구현하려는 다양한 음악 장르에 대해 비트-바를 능동적으로 생성시키지는 못한다.

이에 본 논문에서 구현하려는 워킹 비트는 FFT 알고리즘을 이용한 주파수 분석을 하여 비트-바를 능동적으로 발생시키고자 한다.

### 2.2 비트 음색(Beat Tone)

순수 음색(pure tone)은 단일 주파수를 갖는 사인 파형이라고 볼 수 있다[2]. 만일 두 개의 순수 음색이 근접한 주파수  $f_1$ 과  $f_2(=f_1+\Delta f)$ 를 각각 갖는다면 이 두개의 순수 음색들의 중첩은 시간에 따른 위상 차이  $\phi_B-\phi_A$ 와 최종 음색의 진폭의 변화를 갖게 된다. 특히,  $\Delta f$ 에서의 위상의 합( $A+B$ )과 차( $A-B$ ) 사이의 느린 위상 변화를 비트(Beat)라고 한다[2]. 우리의 귀는 이런  $\Delta f$ 에서의 음을 더 강하게 인식하며, 이 때의 주파수는 일반적으로 평균 주파수인  $f=\frac{1}{2}(f_1+f_2)$ 이다. 예를 들어, 200Hz와 20Hz에 의한 음색의 비트는 다음 식과 같이 설명할 수 있다.

$$x(t) = \cos(2\pi \times 20t) + \cos(2\pi \times 200t) \quad (1)$$

이것은 높은 주파수의 정현파(200Hz)와 낮은 주파수(20Hz)를 곱하는 효과를 가져오게 되며 그림 1과 같이 높은 주파수 파형의 진폭 포락선을 바꾸게 된다[3].

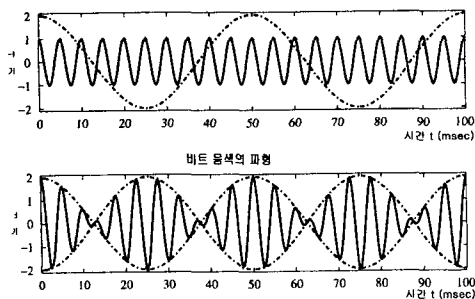


그림 1. 200Hz와 20Hz의 비트 음색.

$\Delta f$ 의 효과는 신호의 강약이 변화도록 포락선을 올리고 내리는 역할을 한다[3]. 실제 음악에서 여러 가지 악기들이 연주될 때, 근접한 주파수 영역에서 음색이 비팅(beatting)되는데 이 때의 주파수 스펙트럼은 그 파위가 밀집된 상태를 보인다.

### 2.3 FFT 알고리즘

연속 시간  $t$ 의 함수로 주어진 신호를 푸리에 변환하여 주파수  $\omega$ 의 함수로 변환시키면 그 신호에 포함되어 있는 주파수 성분을 쉽게 알 수 있다. 임의의 연속신호  $f(t)$ 의 푸리에변환을  $F(\Omega)$ 로 표시하면 다음 식 2와 같이 정의된다.

$$F(\Omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\Omega t} dt \quad (2)$$

우리가 실제로 접하는 연속신호  $f(t)$ 를 수식으로 표현하기가 쉽지 않기 때문에 연속 시간 신호를 푸리에 변환하여 주파수를 분석하는 것은 매우 어렵다. 일반적으로 수식으로 표현하기 어려운 복잡한 연속신호 파형의 푸리에변환은 연속신호를 표본화하여 이산신호로 바꾸어 주파수 스펙트럼을 구하면 편리하다.

$N$ 개의 이산신호  $x(n)$  ( $n=0, 1, 2, \dots, N-1$ )가 주어질 때  $x(n)$ 의 이산푸리에변환(DFT)은 다음 식 3과 같이 정의된다.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\frac{2\pi nk}{N}}, \quad k=0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3)$$

여기서, 회전인자(Twiddle Factor)  $W_N$ 을 아래의 식 4와 같이 정의하고, 식 3은 식 5와 같이 변환된다.

$$W_N = e^{-j2\pi/N} \quad (4)$$

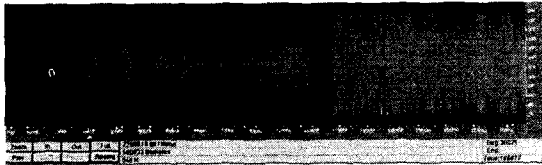
$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{kn}, \quad k=0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (5)$$

이러한  $N$ -포인트 DFT를 계산하기 위해서는  $N \times N = N^2$ 의 곱셈 연산이 필요하다. 즉, 입력 시퀀스의 길이가 긴 경우, 기하급수적인 연산량이 필요하게 된다. 이러한 배경으로  $(N \times \log_2 N)/2$ 의 연산량이 필요한 고속 푸리에 변환(FFT) 알고리즘이 사용된다[4].

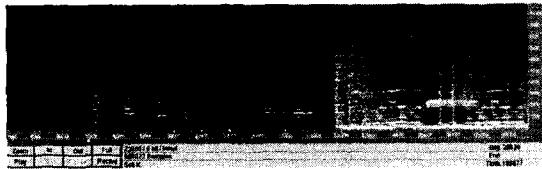
본 논문에서는 비트-바를 생성시키기 위한 주파수 분석으로 DSP를 이용하여 20KHz의 표본율과 256 포인트의 FFT 연산을 소프트웨어적으로 처리하였다.

### 2.4 비트 음색의 주파수 특성

실제 음악의 FFT 알고리즘을 이용한 주파수 분석을 위해서는 다양한 음악의 특성 및 분석 작업이 선행되어야 한다. 이에 실제 노래의 전주부분 약 8초 가량을 Cool Edit 프로그램을 이용하여 8bit 모노로 샘플링한 시간축 상에서의 파형과 주파수 스펙트럼을 보면 다음 그림 2와 같다.



a. 시간축 상의 파형



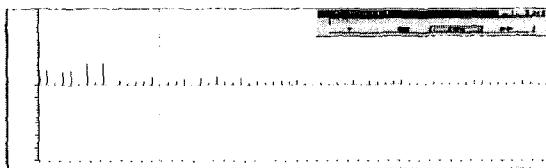
b. 주파수 스펙트럼

그림 2. 실제 음악의 8초 정도 전주 부분의 파형.

그림 2에서 보듯이 시간축의 위상이 큰 곳에서 높은 주파수까지 나타나며, 이는 주로 저음이 강한 드럼(Drum)등의 타악기에 의한 박자와 다른 리듬 악기들의 소리가 중첩이 되면서 생성된 비트(Beat)의 영향으로 주파수 스펙트럼에서 밝게 보일수록 밀도가 높은 곳이다. 여기서 특징이 다른 몇 가지 형태의 부분에 대해 TI사에서 제공하는 Code Composer 프로그램을 이용하여 FFT 스펙트럼을 보면 다음과 같다.



a. 주파수 스펙트럼

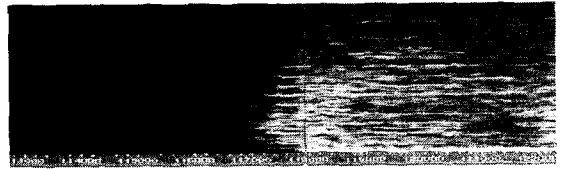


b. FFT 스펙트럼

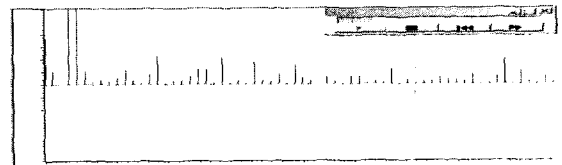
그림 3. 도입부의 주파수 스펙트럼과 FFT 결과.

그림 3과 같이 음악이 시작되는 도입부의 FFT 스펙트럼을 살펴보면 저음부의 특성이 높으며 전체적으로 균일한 분포를 가짐을 알 수 있다. 주파수 스펙트럼의

밝은 부분이 저역에 많이 위치하며 이는 FFT의 결과와 일치한다. 다음으로 곡의 중반부에 해당하는 부분의 주파수 특징을 살펴보면 그림 4와 같다.



a. 주파수 스펙트럼



b. FFT 스펙트럼

그림 4. 중반부의 주파수 스펙트럼 및 FFT 결과.

그림 4에서 보듯이 도입부와는 다르게 주파수 스펙트럼의 밝은 부분이 주파수 전역에 걸쳐 나타나고 이는 FFT의 결과와 같다. 즉, 여러 악기들이 함께 연주되기 시작하면서 비트 음색이 주파수 전반에 걸쳐 강하게 나타난다.

위의 두 가지 비교에서 볼 수 있듯이 주파수 분석을 통한 파워의 밀도는 비트에 해당하는 부분에서 응집되고, 이는 곧 음악의 박자와 상응하게 된다. 그리고, 대부분 음악이 약 500Hz 이하의 저역에서 언제나 강한 비트 영역을 가지고 있으며, 고음부로 갈수록 그 값이 상대적으로 줄어드는 것을 알 수 있었다.

### 2.5 비트-바 발생기

비트-바 발생기의 설계에 있어 가장 중요한 두 가지는 먼저 가능한 모든 음악에 대한 범용적인 비트-바를 생성시킬 수 있어야 한다는 것과 게임기 본연의 목적에 맞게 게임적 요소가 강해야 한다는 것이다. 이를 위해서는 강한 비트가 발생하는 부분을 파악하여야 하는데 FFT 알고리즘을 통한 주파수 분석법이 있다. 즉, FFT 알고리즘 연산 후의 데이터를 이용하여 가장 밀도가 높게 나오는 주파수 영역인 700Hz~9KHz 사이의 주파수를 다섯 부분으로 선별하고 이 부분에 대한 FFT 포인트들의 파워값을 이용하여 비트-바를 발생시킨다. 그러나 대부분 음악들이 저역 부분에 강한 비트가 모여있고, 고역 부분에는 가끔씩 비트가 생성되기 때문에 단순한 주파수 구분에 의한 스펙트럼 파워 밀도 계산만으로는 게임적 요소가 강한 비트-바를 생성시키기 힘들다. 따라서 표 1과 같이 비균등적인 주파

수 구분을 하고, 표 2와 같은 파워 밀도에 대한 기준 레벨과 해당 주파수 포인터를 설정하여 해당 레벨 이상의 파워값이 출력되는 포인터의 수에 의해 비트-바를 생성시켰다.

표 1. 주파수대에 따른 비트-바 생성 구간

채널	1	2	3	4	5	scratch
주파수 (Hz)	700 ~ 1.7K	1.7K ~ 3K	3K ~ 4.5K	4.5K ~ 6.5K	6.5K ~ 9K	700 ~ 9K
FFT 포인터 수	7	9	10	13	16	55

표 2. 각 채널의 파워값에 의한 비트-바 생성기준

채널	1	2	3	4	5
파워값	50이상	40이상	30이상	20이상	20이상
갯 수	2개 이상		1개 이상		

표 3은 FFT 연산이 음악의 박자 비트 음색보다 훨씬 자주 결과값을 산출하는 오류로 발생하는 비트-바를 제거하고, 스크래치 채널에 비트를 생성시키기 위한 것이다. 스크래치 채널은 비트가 주파수 영역 전체에 걸쳐 왕성하게 나타날 때만 비트-바가 생성되도록 하였다.

표 3. 각 채널의 파워값에 의한 비트-바 생성기준

채널	1	2	3	4	5
파워값	50이상	30이상	20이상	15이상	15이상
스크래치 비트-바	5개 채널 모두 존재시				
비트-바 부시	2 채널 이하				

### III. 워킹 비트 하드웨어 설계

#### 3.1 워킹 비트 방식과 아키텍처

워킹 비트는 휴대용 음향기기를 음원으로 하기 때문에 그림 5와 같이 CD 플레이어나 미니 디스크와 같은 휴대용 음향기기의 출력을 워킹 비트 게임기에 연결하고, 워킹 비트 게임기에 다시 이어폰을 연결하는 방식을 이용한다.

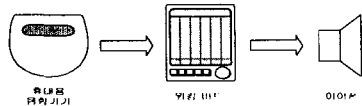


그림 5. 워킹 비트의 방식.

이를 구현하기 위한 워킹 비트 하드웨어 설계 구조

는 그림 6과 같다.

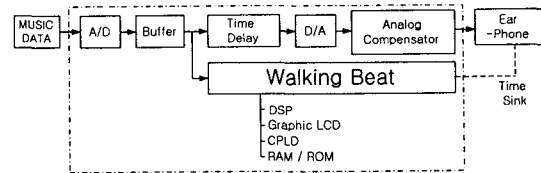


그림 6. 워킹 비트 전체 구성도.

하드웨어 제작을 위하여 TI사의 DSP TMS320C5402를 이용하였고, 비트-바가 스크롤되어 기준선에 도달할 때까지의 시간 지연을 위해 A/D에서 변환되어 SRAM 버퍼에 저장된 음악 데이터는 CPLD를 이용하여 버퍼에 레지스터 번지를 생성시키고, 저장된 데이터를 루프를 돌리는 방식을 이용하였다. CPLD는 이외에 I/O 포트의 역할도 담당하게 된다. 게임의 표현은 판독이 용이하도록 128×64 dot 크기의 대형 그래픽 LCD를 이용하였다.

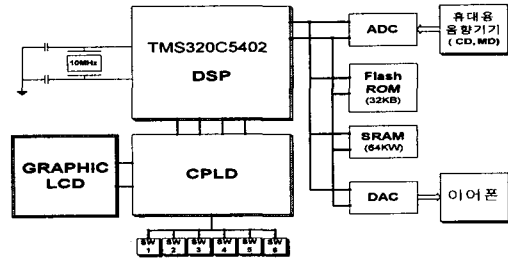


그림 7. 워킹 비트의 하드웨어 아키텍처.

### IV. 결 론

DSP와 FFT 알고리즘을 이용하여 기존 음향 시뮬레이션 게임기의 한계를 극복하고 범용성을 높인 새로운 게임기를 구현하였다. 차후 상용화를 위해 각종 알고리즘 개선 및 하드웨어 설계가 진행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] 김영걸, "공학교육 어떻게 하면 좋겠는가", 과학과 기술, 한국과학기술단체총연합회, 2000.
- [2] Thomas D. Rossing, "The Science of Sound", Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1990.
- [3] 이동욱, 정재호, 서덕영 공역, "먼저 배우는 DSP", 도서출판 인터비전, 1999. 8.
- [4] Kwakernaak, Hubert, *Modern signal and systems*, Prentice-Hall, 1991.