비선형 왜곡을 이용한 클라리넷 음의 합성

°최 영 하 성 굉 모
서울 대학교 전자 공학과

Synthesis of Clarinet Tone using Nonlinear Distortion Method

°Yeong Ha Choi Koeng Mo Sung
Dept. of Electronics Eng., Seoul National University

ABSTRACT

The musical tone of clarinet was synthesized by using nonlinear distortion method. In this method, the control of dynamic spectrum and harmonic contents can be easily attained. The method can be also applied to synthesis of musical tones of many other tonal instruments.

I. 서론

자연계에서 음을 발생할 수 있는 도구는 수없이 많이 있다. 그 중에서도 사람에게 감동을 줄 수 있는 아름다운 음을 발생하는 도구가 악기라고 할 수 있을 것이다.

악기는 고대로부터 만들어지고 연주되어 왔다. 최근에는 전자공학 기술의 비약적인 발전으로, 물리적인 악기를 사용하지 않고도 음의 발생이 가능하게 되었다. 전자공학적인 음의 합성은 물리적인 악기를 구현하는 것보다 획기적으로 비용의 절감이 가능하고, 기존의 악기로 발생할 수 없는 소리까지도 합성이 가능할 뿐만 아니라, 근래에는 컴퓨터와 연결하여 여러 가지 다양한 기능을 가질 수 있게 되었다.

전자공학적인 음의 합성은 가산 합성법, 감산 합성법, 주파수 변조 (FM)를 이용한 방법 등 여러 가지가 알려져 있다 [1]-[3]. 가산합성 방식의 경우, 각 배음마다 하나씩의 발진기가 필요하므로 시스템이 복잡할 뿐만 아니라, 비용이 많이 드는 단점이 있다. 감산합성법의 경우는 하드웨어가 복잡하고, 다이나믹 스펙트럼을 얻을 수 없다. 또, 주파수 변조법의 경우 각 배음의 자유로운 제어가 어렵게 된다.

그래서, 본 연구에서는 다이나믹 스펙트럼을 얻을 수 있을 뿐 아니라 각 배음의 제어도 용이한 비선형 왜곡(nonlinear distortion, 이하 ND로 약하기로 한다) 방식을 이용하여 악기음을 합성한 결과를 보고하고자 한다.

II. ND 합성의 개요

(1) ND 합성의 원리

ND 방식은 기본 진동수에 여러 개의 정수배 배음이 포함된 음의 합성에 매우 유용한 방법이다 [4]-[5]. 따라서 이 방법은 특히 관악기, 현악기 음의 합성에 적합하다.

ND 방식의 기본 원리는 다음과 같다 (그림 1).

1) 원하는 배음의 상대적인 진폭에 의해 shaping function F(x)를 구한다.
2) F(x)의 입력에 정현파 (예를 들어 cost)를 가하면 그 출력 F(cost)가 원하는 만큼의 배음을 가진 파형이 된다.

예를 들어 $F(x) = 2x^3 + 3x^2 - x - 3/2$ 이라면

$$F(\cos t) = 2\cos^3 t + 3\cos^2 t - \cos t - 3/2$$
$$= (1/2)\cos 3t + (3/2)\cos 2t - (5/2)\cos t$$

가 되고, 따라서

첫 배음 (기본음)의 진폭 = 5/2
두 번째 배음의 진폭 = 3/2
세 번째 배음의 진폭 = 1/2

이 얻어진다.

여기에서 원하는 배음을 가진 파형을

$$G(t) = \sum_{n=1}^{N} a_n \cos nt \quad \text{---------- (1)}$$

라 하고, shaping function F(x)를

$$F(x) = \sum_{n=1}^{N} d_n x^n \quad \text{---------- (2)}$$

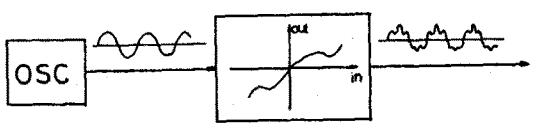

그림 1. ND 방식의 기본 원리

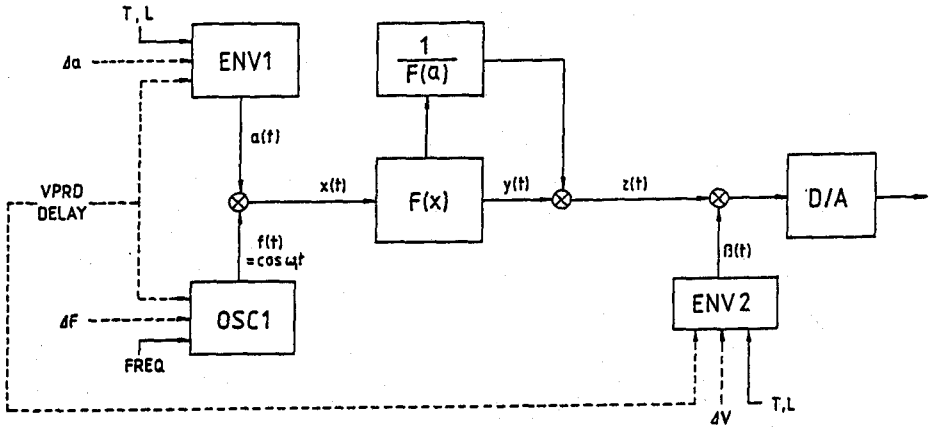

그림 2. ND 합성 시스템의 개요

라 하면 이 두 식에서 계수 a_n과 d_n 사이의 관계는 Chebyshev polynomial 에 의해 쉽게 구할 수 있다[4].

(2) ND 합성 시스템의 전체적인 개요

ND 방식을 이용한 악기음 합성 시스템의 구조를 그림 2 에 블록도로 표시하였다.

발진기 OSC1 에서 발생된 정현파 f(t) 가 포락선 (envelope) 발생기 ENV1 에 의해 그 진폭이 결정되어 shaping function F(x) 에 가해진다. 이 때, ENV1 의 출력 값에 따라 F(x) 의 출력 y(t) 의 왜곡 정도가 달라질 것을 예상할 수 있다. 따라서 ENV1 은 왜곡의 정도를 결정하여 같은 악기에서의 경우에 따른 음색의 차이 (예를 들면 강하게 연주할 때와 약하게 연주할 때의)를 제어한다.

이 출력 y(t) 는 ENV1 의 값에 의해 진폭이 결정 된다. 이것을 ENV1 의 값과 무관하게 일정한 진폭을 가지도록 정규화 시킨다. 정규화된 z(t) 에 실제의 악기음 포락선을 발생하는 ENV2 를 가해 D-A 변환을 거치면 원하는 음이 합성된다.

III. ND 방식을 이용한 클라리넷 음의 합성

(1) 실제 클라리넷 음의 분석

클라리넷 음의 합성을 행하기 위해 우선 실제 클라리넷 음을 분석 하였다. 그림 3 에 클라리넷 D4 음의 초기 (attack) 파형이 나타나 있다. Attack time (악기에서 소리가 나기 시작하고부터 정상상태에 이르기까지의 시간)은 약 30 msec 정도이다. 그림 4 에 초기의 스펙트럼을 보였다.

그림 5 에는 정상상태 (steady state)의 스펙트럼을 보였다. 클라리넷은 한 쪽 끝이 막힌 관의 모델로 생각할 수 있기 때문에 홀수 배음이 우세할 것을 예측할 수 있으며, 그림 5 의 스펙트럼에서도 이것을 확인할 수 있다.

정상상태의 스펙트럼으로부터 합성에 사용될 표 1 의 data 를 얻었다. 각 배음의 진폭이 dB 단위로 나타나 있다. 이 data 를 근거로 얻어진 shaping function 을 그림 6 에 보였다.

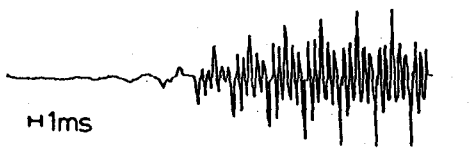

그림 3. 클라리넷 D4 음의 초기 파형

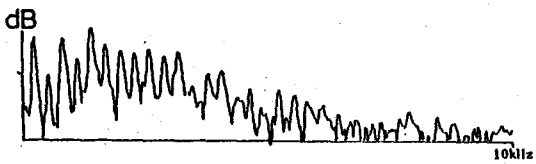

그림 4. 클라리넷 D4 음의 초기 스펙트럼

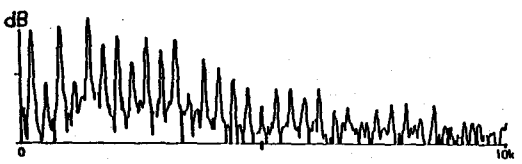

그림 5. 클라리넷 D4 음의 정상상태 스펙트럼

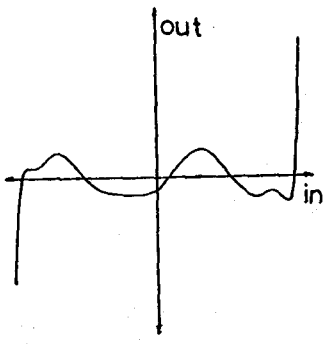

그림 6. 클라리넷 음 합성을 위한 shaping function

배음	진폭 (dB)	배음	진폭 (dB)	배음	진폭 (dB)
1	63.2	11	58.9	21	31.6
2	33.7	12	18.9	22	18.9
3	65.3	13	48.4	23	21.1
4	33.7	14	44.2	24	12.6
5	69.5	15	35.8	25	18.9
6	54.7	16	31.6	26	23.2
7	58.9	17	21.1	27	23.2
8	46.3	18	31.6	28	14.7
9	61.6	19	31.6	29	21.1
10	52.6	20	25.3	30	10.5

표 1. 각 배음의 진폭

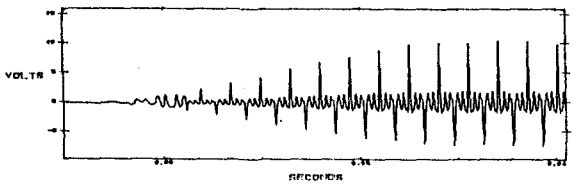

그림 7. 합성된 클라리넷 음의 초기 파형

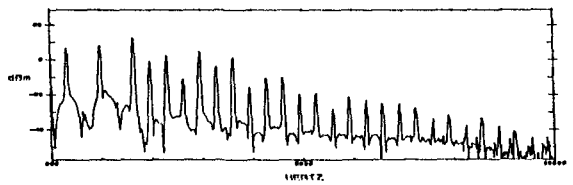

그림 8. 합성된 클라리넷 음의 초기 스펙트럼

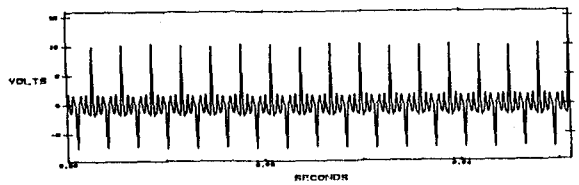

그림 9. 합성된 클라리넷 음의 정상상태 파형

그림 10. 합성된 클라리넷 음의 정상상태 스펙트럼

(2) 합성된 클라리넷 음의 분석

그림 6 의 shaping function 에 의해 클라리넷 E4 음을 합성하였다. 그리고, 합성된 음을 원음과 비교하기 위해 합성음에 대한 분석을 행하였다.

합성된 음의 초기 파형과 스펙트럼을 그림 7 과 그림 8 에 각각 보였다. 그림 3 과 그림 4 의 실제 음과 비교해 볼 때 상당히 유사함을 알 수 있다.

그림 9 와 그림 10 에 정상상태의 파형과 스펙트럼을 보였다. 그림 5 의 실제 클라리넷 음의 스펙트럼과 비교해 보면 거의 같은 모양이다.

합성된 음의 시청 테스트 결과, 좋은 반응을 얻었다.

IV. 결론

ND 방식을 이용하여 클라리넷 음의 합성을 시도하였으며, 좋은 결과를 얻었다. 클라리넷 외에도 여러 가지 다양한 악기음의 합성이 가능하며, shaping function 만 적절히 변경하면 된다.

장차 여러 다른 악기음의 합성을 시도할 예정이며, 보다 아름답고 자연스러운 음을 내기 위해 vibrato 등 실제 악기에서 행해지는 여러 가지 기교의 효과도 첨가할 생각이다. 그리고, 연속음 및 화음의 합성까지 완성하여 ND 방식을 이용한 전자 악기의 개발에 목표를 두고 있다.

참고 문헌

[1] Olson, H. F., H. Belar, and J. Timmers, "Electronic music synthesis", J. Acoust. Soc. Am., Vol.32, No.3, 1960, pp.311-319.

[2] Moorer, J. A., "Signal processing aspects of computer music : a survey", Proc. IEEE, Vol.65, No.8, 1977, pp.1108-1137.

[3] Chowing, J. M., "The synthesis of complex audio spectra by means of frequency modulation", J. Audio Eng. Soc., Vol.21, No.7, 1973, pp.526-534.

[4] Roads, C., "A tutorial on nonlinear distortion or wave shaping synthesis", Computer Music J., Vol.3, No.2, 1979, PP.29-34.

[5] beauchamp, J., "Brass-tone synthesis by spectrum evolution matching with nonlinear functions", Computer Music J., Vol.3, No.2, 1979, pp.6-11.