

초보자를 위한 기타 조율 지원 시스템

Guitar tuning support system for beginners

김도원 · 손영선

동명대학교 정보통신공학과

Do-Won Kim, Young-Sun Sohn

Det. of Information Communications Engineering

Tongmyong University

E-mail: yssohn@tu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 기타를 배우는 초보자가 조율을 쉽게 할 수 있도록 지원하는 시스템을 구현하였다. 본 시스템은 입력된 기타음에서 A/D 변환 및 FFT를 이용하여 pitch를 추출하였다. 기타음 인식 알고리즘을 적용하여 줄감개의 조작량과 조작 방향을 ‘약 45°정도 감아라.’, ‘아주조금 풀어라.’ 등과 같은 언어적 표현으로 나타내어 조율 할 수 있게 하였다. 기타를 처음 접해보는 피험자들에게 본 시스템을 적용시켜 본 결과 피험자들은 시스템의 언어표현과 적절한 조작 횟수에 대하여 만족감을 나타내었고 조율 결과도 숙련자의 조작과 동일한 효과를 얻을 수 있었다.

Key Words : 인식, fuzzy 추론, 기타, 조율, 지능 시스템

1. 서 론

기타를 연주하기에 앞서 기타의 음을 조율하는 작업은 필수적인 과정으로 그 방법에는 크게 2가지가 있다. 첫 번째 방법은 연주자의 귀와 음감에 의존한 조율이고, 두 번째 방법은 조율기(Tuner)를 이용한 조율이다. 전자의 경우, 2가지의 방법이 있는데 첫 번째는 조율이 되어있는 피아노나 조율피리 등 조율보조 악기를 이용하여 기타줄의 음을 조율하는 방법이다. 두 번째는 조율보조 악기를 이용하여 5번 줄만을 조율한 후, 조율된 줄과 그 옆의 줄이 같은 음이 되는 자판을 짚은 후 두 줄의 음이 같아지도록 조율하면서 전체 줄을 조율하는 방법이다. 전자의 방법은 연주자의 음감에 의존하는 방법으로서 음감이 떨어지는 사람과 초보자에게는 매우 어려운 방법이며, 연주자의 컨디션 등으로 인해 항상 일정한 조율을 보장할 수 없는 단점이 있다. 조율기를 이용하는 후자의 경우에는 사용자가 조율하고자 하는 기타줄의 표준음과 조율하는 음을 비교하여 두 음의 차이를 조율기에 표시한다. 조율기는 음의 차이를 cent단위[1]로 나타내며, 사용자가 그 차이에 따라 줄감개를 조작하여 조율하게 되므로 음감이 좋지 않은 초보자도 조율이 가능하나, 줄감개의 조작량을 가늠하기 힘든 단점이 있

다.

본 논문에서는 기타의 절대 음높이를 이용하여 기타를 처음 배우는 초보자가 숙련자처럼 조율 가능하도록 지원하는 시스템을 구현하였다.

2. 전체 시스템 알고리즘

그림 1의 시스템 흐름도에서 알 수 있듯이, 연주자가 조율하고자 하는 줄 번호를 입력하고 기타음을 입력하면 입력음의 높이를 추출한다. 여기서, 기타줄의 특성상 3번줄의 경우 동선을 감은 줄과 감지 않은 줄의 2가지 종류가 있고, 각각의 경우 조율이 다르므로 ‘종류’를 선택하게 하였다.

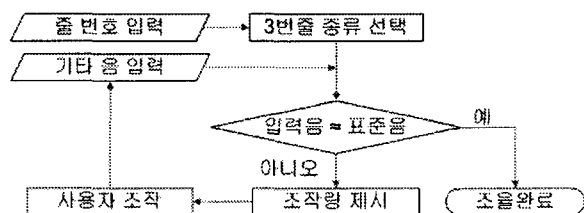


그림 1. 시스템 흐름도

입력된 음과 표준음의 음 높이를 비교하여, 입력음의 조작이 필요한 경우 조작량을 제시하며, 입력음의 높이가 표준음의 높이와 거의 같으면 '조율완료'를 알리고 해당 줄에 대한 조율을 끝낸다.

3. 음의 높이 추출을 위한 알고리즘

그림 2에서 알 수 있듯이 음의 높이를 추출하기 위하여 먼저 아날로그 신호인 기타의 음을 A/D 변환 후 샘플링 주파수 11,025Hz, 8bit mono의 wave form file로 저장하였다. 저장된 파일에서 음의 높이 추출을 위해 데이터를 읽어 들인 후, FFT연산시 발생하는 side lob을 줄이기 위해 Hamming window를 사용하고, 잡음제거와 대역제한을 위해 대역통과필터(BPF)를 사용하였다. 그리고 FFT를 이용하여 음의 높이를 추출하였다.

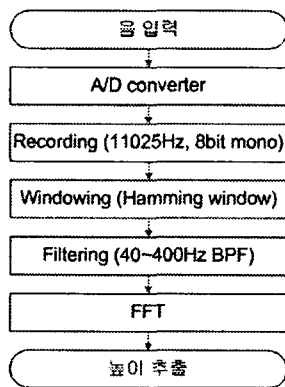


그림 2. 음의 높이 추출 과정

3.1 Windowing[3]

본 논문에서는 side lob 신호의 크기를 줄임으로써 잡음의 발생을 줄이는 Hamming window를 사용하였으며, 대표적인 식은 식(1)과 같다.

$$W_h(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (1)$$

3.2 Filtering[4]

잡음의 제거와 기타음역의 신호만을 검출하기 위해, 푸리에 급수를 이용하여 설계가 비교적 간단하고 선형 위상 특성을 갖는, FIR필터를 설계하였다. 푸리에 급수의 주기적 성질을 이용한 필터의 전달함수는 식(2)와 같다.

$$H(z) = \sum_{i=0}^{2Q} a_i z^{-i} \quad (2)$$

side lob가 발생하는 FIR 필터를 보완하기 위해 식(3)과 같이 정의된 Hamming window를 사용하였다.

$$W_H(n) = 0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{n\pi}{Q}\right), \quad n \leq Q \quad (3)$$

3.3 Fast Fourier Transform(FFT)[4]

이산신호로부터 기본주기(주파수)를 검출해 내는 푸리에 변환(DFT : Discrete time Fourier Transform)은 식(4)와 같다.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_n^{kn} \quad (4)$$

여기서, $W_n = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$, $W_n^{kn} = e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}$ 이며 DFT의 연산수는 N^2 번이 된다.

FFT를 이용하여 상기와 같은 연산을 할 경우에 연산수를 $N \log_2 N$ 에 비례하도록 줄일 수 있다. 식(5)의 연산을 이용하여 그림 3의 (a), (b)와 같이 DFT 연산수를 1/2씩 줄여 최종적으로 (c)와 같은 FFT 연산 흐름도를 얻을 수 있다.

$$g(m) = x(m) + x\left(m + \frac{N}{2}\right),$$

$$h(m) = x(m) - x\left(m + \frac{N}{2}\right), \quad 0 \leq m \leq \frac{N}{2} - 1 \quad (5)$$

FFT연산은 그림 3의 (c) 흐름도로부터 그림 4와 같은 나비연산을 취함으로써 가산 연산만으로도 DFT가 가능하며 속도가 빠른 장점이 있다. 이때 연산 결과가 비트 역순으로 정렬되므로 비트순으로 다시 정렬해야 한다.

4. 퍼지 추론[5]

조율 조작량을 결정하기 위하여 퍼지추론을 적용하였다. 기타의 각 줄에서 음의 높이에 대한 조율 조작 멤버십 함수를 그림 5와 같이 정했다. 조작 후의 음의 높이가 표준음의 높이보다 높아지면 기타줄이 끊어질 위험이 있으므로 제시된 조작량보다 조금 더 조작하여도 목표음의 높이보다 높아지지 않도록 멤버십 함수를 구성하였으며, 하나의 입력에 대해 두 개의 함수의 값이 같은 경우에는 목표음과 가까운 함수를 선택하도록 하였다. 일반적으로 숙련자의 경우, 기타 조율시 음의 차이가 크면 차이가 작아질 때까지 조작을 많이 한 후 세밀한 조율을 하므로, 본 시스템에서도 숙련자의 경험을

기반으로 하여 입력된 음의 높이에 대한 멤버십 함수의 값이 큰 멤버십 함수의 조작량을 제시하도록 하였다. 평균적으로 각 줄을 14°정도 조작하면 주파수가 1Hz정도 변화하므로, 1Hz 전후의 세밀한 조작의 경우 '아주조금', 1~10Hz 사이의 음 차이에 대해서는 대략적인 각도, 10Hz 이상 차이가 나는 경우에는 '몇바퀴'로 조작량을 제시하도록 하였다.

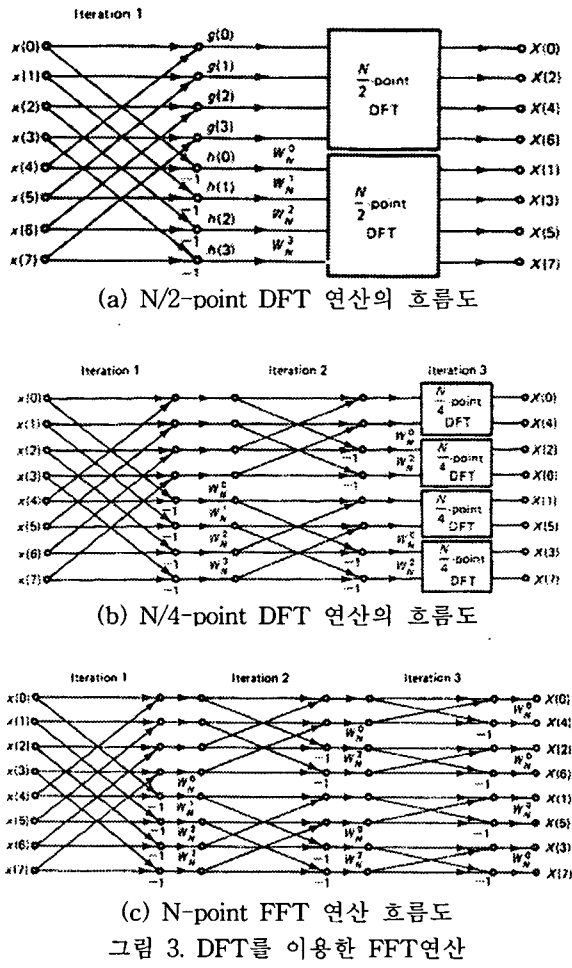


그림 3. DFT를 이용한 FFT연산

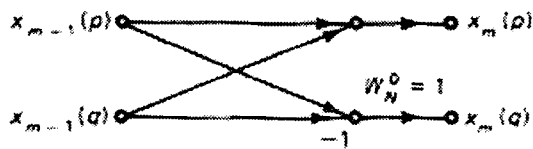
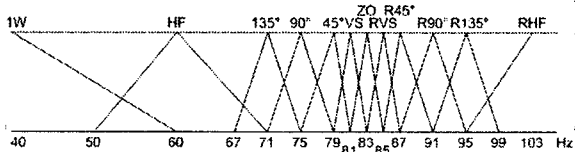
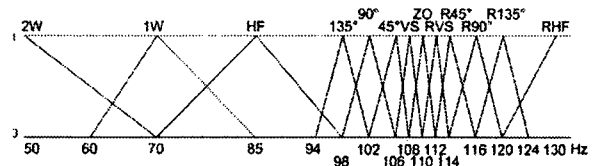


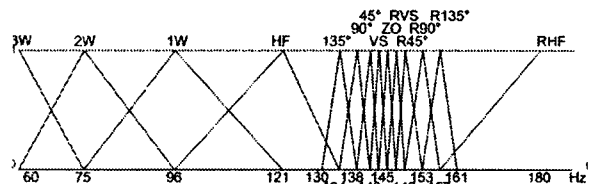
그림 4. 나비연산



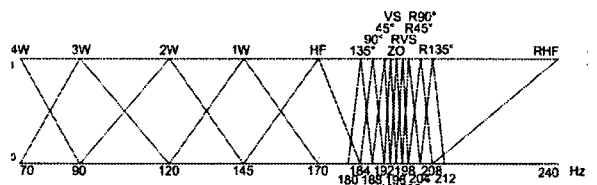
(a) 6번줄



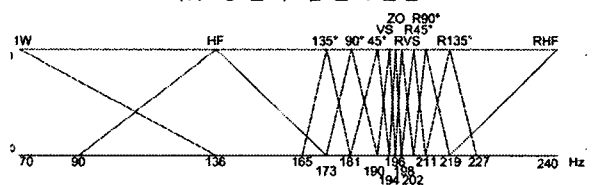
(b) 5번줄



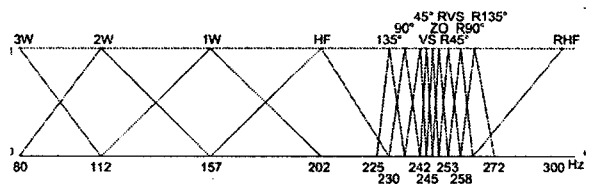
(c) 4번줄



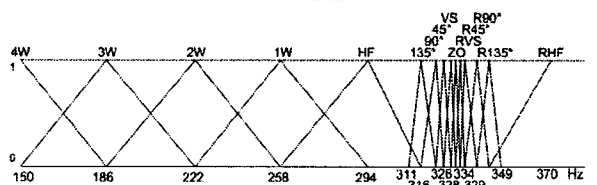
(d) 동선이 감긴 3번줄



(e) 얇은 3번줄



(f) 2번줄



(g) 1번줄

여기서, RHF : 반바퀴 정도 푸시오.

Rx° : x° 정도 푸시오.

RVS : 아주조금 푸시오.

ZO : 조작량 없음. 조작 완료

VS : 아주조금 감으시오.

x° : x° 정도 감으시오.

HF : 반바퀴 정도 감으시오.

yW : y 바퀴 정도 감으시오.

그림 5. 음의 높이에 대한 각 줄의 멤버십 함수

퍼지 제어 규칙은,
 '만약 6번줄을 조율하고, 음이 낮다면 반바퀴 정도 감아라.'
 :
 '만약 1번줄을 조율하고, 음이 높다면 반바퀴 정도 풀어라.'
 등, 표 1과 같이 구성하였다.

표 1. 퍼지 제어 규칙

기타음 줄번호	VL	L	LL	VLL	EQ	VLH	LH	H
6번줄	1W	HF	약 x°	VS	ZO	RVS	R x°	RHF
5번줄	aW	HF	약 x°	VS	ZO	RVS	R x°	RHF
4번줄	bW	HF	약 x°	VS	ZO	RVS	R x°	RHF
3번줄 (동선)	cW	HF	약 x°	VS	ZO	RVS	R x°	RHF
3번줄 (얇은줄)	1W	HF	약 x°	VS	ZO	RVS	R x°	RHF
2번줄	bW	HF	약 x°	VS	ZO	RVS	R x°	RHF
1번줄	cW	HF	약 x°	VS	ZO	RVS	R x°	RHF

여기서, 약 x° = 45, 90, 135 중 하나
 $a = 1\sim 2$
 $b = 1\sim 3$
 $c = 1\sim 4$
 VL(Very Low) : 음이 아주 낮다.
 L(Low) : 음이 낮다.
 LL(Little Low) : 음이 조금 낮다.
 VLL(Very Little Low) : 음이 아주 조금 낮다.
 EQ(Equal) : 음이 거의 같다.
 VLH(Very Little High) : 음이 아주 조금 높다.
 LH(Little High) : 음이 조금 높다.
 H(High) : 음이 높다.

5. 실험 결과 및 고찰

5.1 실험

피험자는 본교의 남·여 대학생 중 기타 초보자 10명을 대상으로 하였다. 실험은 기타의 줄을 많이 풀어 놓은 상태에서 본 시스템의 제시어에 따라 조율을 시작하여, 완료하였다. 음에 대한 만족도를 측정하기 위해 표준음을 들려주어 사용자가 조율한 음과 비교하도록 하였다. 실험후에 시스템이 제공하는 '제시어'에 대한 만족도와 조율이 끝난 뒤 '청취음'에 대한 만족도에 대하여 각각 설문조사를 실시하였다.

5.2 실험 결과

실험 후 조율 제시어에 대한 사용자의 이해도와 만족도에 대한 설문조사 결과 '매우 만족', '만족', '보통', '불만족', '매우 불만족'의 5가지 항목 중에서 '매우 만족'의 응답이 2명, '만족'의 응답이 8명, 조율 후 음의 만족도에 대한 설문조사에는 전기의 5가지 항목 중에서 '매우 만족'의 응답과 '만족'의 응답이 각각 5명으로

나타나 본 시스템에서 제공하는 인터페이스와 자신이 조율한 음에 대하여 대단히 만족하는 것으로 나타났다.

표 2의 '조율이 완료되기까지의 줄감개 조작량'에서 알 수 있듯이 피험자들은 평균적으로 3~4회의 조작으로 숙련자와 같은 조율이 가능함을 알 수 있다.

표 2. 조율이 완료되기까지의 줄감개 조작량 (단위: 회)

줄번호	최소 조작	최대 조작	평균 조작
6	2	6	3.4
5	1	6	3.3
4	3	4	3.4
3	3	7	4.6
2	2	6	3.8
1	3	7	3.8
전체	1	7	3.71

6. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 조율하고자 하는 기타줄의 번호와 입력된 기타 음에 대한 줄감개의 조작량을 제시함으로써 초보자도 숙련자처럼 조율이 가능한 시스템을 구현하였다. 인간이 기타를 조율함에 있어서 정확한 수치로 조작할 수 없으므로 숙련자가 초보자에게 기타조율을 지도하듯이 언어로 알려 주어 조율이 가능한 시스템을 구현하였으며, 초보 피험자에게 적용시킨 결과 높은 만족도를 얻었다.

향후 과제로는, 먼저 몇바퀴, 대략 몇도 등의 수치적 제시어에 가까운 표현보다는 상대적인 언어표현을 사용하여 좀 더 인간에게 친밀감을 주는 시스템을 구현하고, 다음으로 줄번호를 모르는 상태에서 기타음을 듣고 조율이 가능한 시스템 구현을 기반으로 여러 악기음 중에서 특정한 악기의 음의 높이를 인식하는 시스템의 구현이 고려되어 진다.

참 고 문 헌

- [1] 이원애, "調律法の 研究", 동아대학교 석사학위논문, 1992
- [2] 강성훈, 음향기술입문, 음향기술산업연구소, pp. 106 -125, 2003
- [3] 강성훈, 고급음향기술, 음향기술산업연구소, pp. 388 -396, 2004
- [4] Nasir Ahmed, T.Natarajan, 이산신호 시스템, 대영사, pp.142-148, pp.287-340, 1998
- [5] 本多中二, 大理有生, 퍼지 공학 입문, 웅보출판사, 2005