



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0116085
(43) 공개일자 2016년10월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 11/00 (2006.01) B25J 19/02 (2006.01)
G10D 1/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B25J 11/004 (2013.01)
B25J 19/026 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0041378
(22) 출원일자 2015년03월25일
심사청구일자 2015년03월25일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
김동한
서울특별시 강남구 삼성로 212 11동 1110호 (대치동, 은마아파트)
이범주
서울특별시 동대문구 답십리로69길 81 203호 (장안동, 이화연립)
조원서
충청남도 아산시 음봉면 연암율금로 170 (소동리)
(74) 대리인
김홍석, 김동용

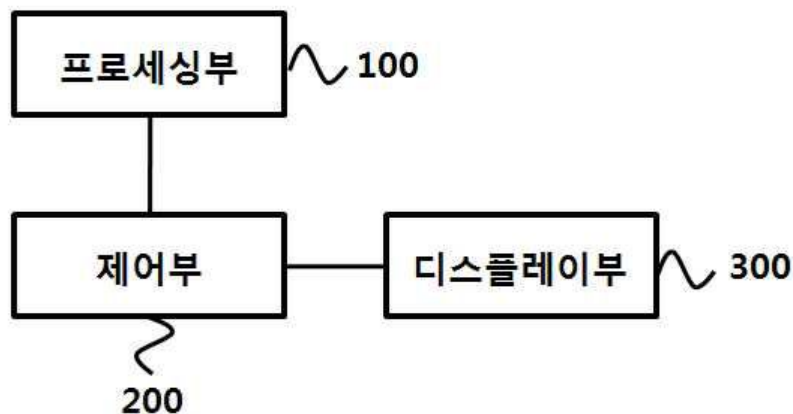
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치 및 그 방법

(57) 요약

본 발명의 실시예에 따른 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치는 로봇에 의해서 활을 제어하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치로서, 로봇에 의해 제어되는 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 활과 현이 맞닿는 위치인 연주점을 측정하고, 현악기에서 연주되는 음향을 기음주파수정보와 음향의 크기정보(loudness)로 변환하는 프로세싱부 및 상기 기음주파수정보 및 상기 음향의 크기정보를 각각 기 저장된 표준주파수정보 및 표준음향의 크기정보와 비교하여 상기 프로세싱부에서 측정된 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점을 보정한 변환데이터를 생성하고, 상기 로봇을 제어하는 제어부를 포함한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G10D 1/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2012R1A1A2043822

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자지원사업

연구과제명 실시간 Auditory Feedback 기반 HRI 시스템 연구

기 여 율 1/2

주관기관 경희대학교

연구기간 2012.09.01 ~ 2015.08.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2014S1A5B6035098

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 학제간융합연구사업

연구과제명 인간과 실시간 협연을 위한 바이올린 연주 로봇 개발

기 여 율 1/4

주관기관 경희대학교

연구기간 2014.11.01 ~ 2015.10.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NIPA-2014-ITAH0905140110020001000100100

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터

연구사업명 해외IT전문인력활용촉진

연구과제명 실시간 Auditory Feedback을 활용한 음악로봇의 추가로 향상된 로봇 뮤지컬 기술 개발

기 여 율 1/4

주관기관 경희대학교

연구기간 2014.12.01 ~ 2016.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

로봇에 의해서 활을 제어하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치로서,

로봇에 의해 제어되는 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 활과 현이 맞는 위치인 연주점을 측정하고, 현악기에서 연주되는 음향을 기음주파수정보와 음향의 크기정보(loudness)로 변환하는 프로세싱부; 및

상기 기음주파수정보 및 상기 음향의 크기정보를 각각 기 저장된 표준주파수정보 및 표준음향의 크기정보와 비교하여 상기 프로세싱부에서 측정된 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점을 보정한 변환데이터를 생성하고, 상기 로봇을 제어하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 프로세싱부와 연결되어, 프로세싱부에서 측정된 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점에 대한 실시간 정보를 화면으로 출력하는 디스플레이부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 프로세싱부는

로봇에 의해 제어되는 활의 속도를 측정하는 속도측정모듈;

활이 현을 누르는 압력을 측정하는 압력측정모듈;

상기 연주점을 측정하는 연주점측정모듈; 및

상기 현악기에서 연주되는 음향을 기음주파수정보와 음향의 크기정보로 변환하는 음향센싱모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 압력측정모듈은 활의 손잡이에 설치되는 2축 로드셀에서 변화하는 출력전압을 이용하여 현에 가해지는 압력을 측정하는 것을 특징으로 하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 음향센싱모듈은 실시간으로 연주되는 음향을 STFT(Short Time Fourier Transform)을 이용하여 주파수 차원의 정보인 기음주파수정보로 변환하는 것을 특징으로 하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 연주점측정모듈은 현악기의 브릿지에서 핑거보드(fingerboard)방향으로 설치되는 적어도 하나 이상의 포터 인터럽트를 이용하여 연주점을 측정하는 것을 특징으로 하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치.

청구항 7

현악기 연주제어장치에 의해서 구현되는 로봇에 의해서 활을 제어하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어방법으로서,

- (a) 로봇에 의해 제어되는 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 활과 현이 맞닿는 위치인 연주점을 측정하는 단계;
- (b) 현악기에서 연주되는 음향을 기음주파수정보와 음향의 크기정보(loudness)로 변환하는 단계;
- (c) 상기 기음주파수정보 및 상기 음향의 크기정보를 각각 기 저장된 표준주파수정보 및 표준음향의 크기정보와 비교하는 단계; 및
- (d) 상기 기음주파수정보 및 상기 음향의 크기정보를 상기 표준주파수정보 및 상기 표준음향의 크기정보와 각각 비교한 결과, 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점을 보정한 변환데이터를 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 (d)단계 이후 상기 활의 속도, 상기 활이 현을 누르는 압력 또는 상기 연주점을 보정한 변환데이터를 이용하여 로봇을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 (b)단계는 연주되는 음향을 STFT(Short Time Fourier Transform)을 이용하여 주파수 차원의 정보인 기음주파수정보로 변환하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명의 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치 및 그 방법에 관한 발명으로서, 보다 상세하게는 현악기를 연주하는 로봇이 청각 귀환을 이용하여 원하는 음을 연주할 수 있도록 하는 현악기 연주제어장치 및 그 방법에 관한 발명이다.

배경 기술

- [0002] 로봇 산업의 급속한 발전과 로봇 기능의 다양화로 연구의 방향이 산업용 로봇에서 개인, 가정용 로봇, 청소 로봇 등으로 넓어지고 있다. 이러한 기술 발전으로 사람-로봇 상호작용(Human-Robot Interaction, HRI)에 대한 연구가 각광받고 있으며, 기존 산업용 로봇이 하지 못했던 감정 표현, 인간 친화적인 상호정보 전달을 할 수 있는 다양한 엔터테인먼트 로봇들이 출현하고 있다.
- [0003] 이러한 로봇들은 사람의 의지를 인식하기 위하여 시각, 청각, 촉각 등의 센서를 사용한다. 특히 사람의 음성 및 동작을 인식하고, 다양한 소리들을 인식하는 연구들이 활발히 진행되고 있다. 하지만 HRI의 대표적인 요소 중 auditory feedback 연구는 의료분야에서만 국한적으로 사용되고 있다. 실 예로 말을 더듬는 사람이 본인의 소리를 듣고 상태를 이해하여 더듬는 증상을 자가치료하는 방법에 대하여 소개되었다. 이러한 원리를 로봇과 사람의 상호작용 시스템에 적용한다면, 로봇이 만들어 내는 소리를 스스로 듣고 평가하고 음을 보정하는 악기 연주가 가능할 수 있다.
- [0004] 또한 사람이 연주하는 소리를 듣고 이에 맞추어 협주를 한다거나, 사람의 연주를 평가하여 문제점을 고쳐주는 교습도 가능해진다.
- [0005] 악기를 연주하는 로봇들에 대하여 많은 연구 결과들이 보고되었다. Waseda 대학에서는 'Waseda Saxophonist Robot'을 개발하였고, Flutist Robot을 개발했다.
- [0006] 이 로봇들은 공기 펌프 등을 이용하여 인위적인 공기의 흐름 제어를 통해 이를 관악기에 흡기시켜 연주한다. 다른 종류의 악기 연주로봇으로써 Toyota에서는 향상된 제어 기술을 이용한 바이올린 로봇을 개발하고, 실제 시연을 하기도 했다.

[0007] 또한 Ryukoku 대학에서는 감정을 이용한 바이올린 연주로봇을 개발했다.

[0008] 현악기는 주로 활(Bow)을 이용하여 현을 마찰시켜 연주하며, 악기 로봇의 경우 연주 동작을 위해 다관절 로봇을 이용한다. 아울러 연주하는 팔과 손, 손가락을 제어해야 하기 때문에 시스템이 복잡하며 정교한 제어를 요구한다. 기존의 로봇을 이용한 악기 연주는 미리 저장되어 있는 움직임 데이터를 플레이하는 방식이었기 때문에 작은 외력에 의해서도 음질이 크게 바뀌게 된다. 악기 연주를 위하여 로봇 팔의 경로 생성 및 악기에 가하는 압력 제어 연구에 초점이 맞추어져 연주 소리를 듣고 스스로 보정할 수 있는 방법에 대해서는 크게 고려하지 않기 때문에, 외란에 대하여 강인하지 못하며 스스로 보정하는 절차가 없어 연주의 질이 낮아질 수 있는 단점을 가진다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 목적은 청각 귀환을 통해 로봇이 현악기를 연주할 때, 스스로 음을 보정할 수 있는 현악기 연주 제어 장치 및 그 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 실시예에 따른 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치는 로봇에 의해서 활을 제어하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치로서, 로봇에 의해 제어되는 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 활과 현이 맞는 위치인 연주점을 측정하고, 현악기에서 연주되는 음향을 기음주파수정보와 음향의 크기정보(loudness)로 변환하는 프로세싱부 및 상기 기음주파수정보 및 상기 음향의 크기정보를 각각 기 저장된 표준주파수정보 및 표준음향의 크기정보와 비교하여 상기 프로세싱부에서 측정된 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점을 보정한 변환데이터를 생성하고, 상기 로봇을 제어하는 제어부를 포함한다.

[0011] 본 발명의 실시예에 따른 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치는 상기 프로세싱부와 연결되어, 프로세싱부에서 측정된 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점에 대한 실시간 정보를 화면으로 출력하는 디스플레이부를 더 포함할 수 있다.

[0012] 여기서, 상기 프로세싱부는 로봇에 의해 제어되는 활의 속도를 측정하는 속도측정모듈, 활이 현을 누르는 압력을 측정하는 압력측정모듈, 상기 연주점을 측정하는 연주점측정모듈 및 상기 현악기에서 연주되는 음향을 기음주파수정보와 음향의 크기정보로 변환하는 음향센싱모듈을 포함할 수 있다.

[0013] 여기서, 상기 압력측정모듈은 활의 손잡이에 설치되는 2축 로드셀에서 변화하는 출력전압을 이용하여 현에 가해지는 압력을 측정할 수 있다.

[0014] 여기서, 상기 음향센싱모듈은 실시간으로 연주되는 음향을 STFT(Short Time Fourier Transform)을 이용하여 주파수 차원의 정보인 기음주파수정보로 변환할 수 있다.

[0015] 여기서, 상기 연주점측정모듈은 현악기의 브릿지에서 핑거보드(fingerboard)방향으로 설치되는 적어도 하나 이상의 포터 인터럽트를 이용하여 연주점을 측정할 수 있다.

[0016] 본 발명의 실시예에 따른 청각 귀환을 이용한 현악기 연주방법은 현악기 연주제어장치에 의해서 구현되는 로봇에 의해서 활을 제어하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어방법으로서, 로봇에 의해 제어되는 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 활과 현이 맞는 위치인 연주점을 측정하는 단계, 현악기에서 연주되는 음향을 기음주파수정보와 음향의 크기정보(loudness)로 변환하는 단계, 상기 기음주파수정보 및 상기 음향의 크기정보를 각각 기 저장된 표준주파수정보 및 표준음향의 크기정보와 비교하는 단계 및 상기 기음주파수정보 및 상기 음향의 크기정보를 상기 표준주파수정보 및 상기 표준음향의 크기정보와 각각 비교한 결과, 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점을 보정한 변환데이터를 생성하는 단계를 포함한다.

[0017] 여기서, 상기 상기 기음주파수정보 및 상기 음향의 크기정보를 상기 표준주파수정보 및 상기 표준음향의 크기정보와 각각 비교한 결과, 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점을 보정한 변환데이터를 생성하는 단계 이후, 상기 활의 속도, 상기 활이 현을 누르는 압력 또는 상기 연주점을 보정한 변환데이터를 이용하여 로봇을 제어하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0018] 여기서, 상기 현악기에서 연주되는 음향을 기음주파수정보와 음향의 크기정보(loudness)로 변환하는 단계는 연주되는 음향을 STFT(Short Time Fourier Transform)을 이용하여 주파수 차원의 정보인 기음주파수정보로 변환하

는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0019] 본 발명의 실시예에 따른 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치 및 그 방법에 의하면 현악기를 연주하는 로봇이 스스로 연주되고 있는 음을 보정하여 음질을 스스로 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도1은 바이올린 연주시의 음질결정요소를 설명하기 위한 도면이다.
 도2는 음의 엔벨로프(envelope)현상을 설명하기 위한 그래프이다.
 도3은 본 발명의 실시예에 따른 현악기 연주제어장치의 기능 블록도이다.
 도4는 본 발명의 실시예에 따른 프로세싱부의 기능 블록도이다.
 도5는 활의 속도변화에 따른 평균주파수와 평균 음향의 크기변화를 나타낸 그래프이다.
 도6은 바이올린에 포토인터럽트가 설치된 실제사진이다.
 도7은 연주점이 P1일때 음질평가 그래프이다.
 도8은 연주점이 P3일때 음질평가 그래프이다.
 도9은 연주점이 P5일때 음질평가 그래프이다.
 도10은 본 발명의 실시예에 따른 청각귀환을 이용한 현악기 연주방법의 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시 예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시 예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시 예들은 다양한 형태들로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시 예들에 한정되지 않는다.

[0022] 본 발명의 개념에 따른 실시 예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시 예들을 도면에 예시하고 본 명세서에서 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시 예들을 특정한 개시 형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

[0023] 제1 또는 제2 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 벗어나지 않은 채, 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고 유사하게 제2 구성 요소는 제1 구성 요소로도 명명될 수 있다.

[0024] 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성 요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성 요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성 요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0025] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 본 명세서에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0026] 각 블록 또는 각 단계는 특정된 논리적 기능(들)을 실행하기 위한 하나 이상의 실행 가능한 인스트럭션들을 포함하는 모듈, 세그먼트 또는 코드의 일부를 나타낼 수 있다. 또, 몇 가지 대체 실시예들에서는 블록들 또는 단

계들에서 언급된 기능들이 순서를 벗어나서 발생하는 것도 가능함을 주목해야 한다. 예컨대, 잇달아 도시되어 있는 두 개의 블록들 또는 단계들은 사실 실질적으로 동시에 수행되는 것도 가능하고 또는 그 블록들 또는 단계들이 때때로 해당하는 기능에 따라 역순으로 수행되는 것도 가능하다.

- [0027] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0028] 이하, 본 명세서에 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시 예들을 상세히 설명한다.
- [0029] 본 발명의 실시예에 따른 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치를 설명하기에 앞서 현악기, 특히 본 발명의 실시예에서는 바이올린을 예로 들어 설명하되, 바이올린 연주시 중요요소들에 대해서 도1을 통해서 살펴본다.
- [0030] 도1은 바이올린 연주시의 음질결정요소를 설명하기 위한 도면이다.
- [0031] 도1에 도시된 바와 같이 바이올린은 활과 현이 진동하여 소리를 생성하는 악기로서, 음정(pitch), 음색(timbre), 음의 크기(loudness)를 조절하여 다양한 소리를 생성한다. 음정은 소리의 기본주파수를 인지하는 것을 말하며, 음색은 악기나 음성의 주파수 구조에 따라 특유의 특징이나 음의 소리를 결정한다. 즉 음의 감각적 특성, 소리의 높낮이를 의미한다. 음의 크기는 음성의 강도를 인식하는 정도를 나타낸다. 이중 음색은 소리의 특징에 영향을 주는 가장 큰 요소이고 활의 속도(V), 활이 현을 누르는 압력(F), 활과 현이 맞는 위치인 연주점(P)과 연관되어 있다.
- [0032] 도2는 음의 엔빌로프(envelope)현상을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0033] 음의 엔빌로프 현상은 파형의 끝을 서로 연결하여 파형을 둘러싸듯이 그어진 선으로, 각종 악기는 그 악기 특유의 엔빌로프를 가지고 있고, 사람이 악기 종류를 구분해서 들을 수 있는 중요한 요소가 된다.
- [0034] 도2에서 보여지듯이 모든 소리에는 엔빌로프 현상이 발생한다. 이 현상은 특정한 음이 발생한 후에 시간이 지남에 따라 음량이 변화되는 것을 말한다. 보통 발생(attack), 쇠퇴(decay), 안정(sustain), 소멸(release) 4단계로 구분한다. 발생(attack)단계는 음이 최초로 시작될 때까지 걸리는 시간과 음량, 쇠퇴(decay)단계는 음이 지속되기 위해 안정화 단계로 가는 시간, 안정(sustain)단계는 음이 안정적으로 유지되는 동안의 시간, 소멸(release)단계는 소리가 사라질 때까지 걸리는 시간이다. 이와 같은 엔빌로프 현상의 특성상 본 발명의 실시예에서는 음의 안정(sustain)단계의 음질을 비교평가 대상으로 설정한다.
- [0035] 또한 본 발명의 실시예에서 설명하는 기음주파수는 음의 안정(sustain)단계에서의 주파수를 의미함을 밝혀둔다.
- [0036] 도3은 본 발명의 실시예에 따른 현악기 연주제어장치의 기능 블록도이다.
- [0037] 도4는 본 발명의 실시예에 따른 프로세싱부의 기능 블록도이다.
- [0038] 도3에 도시된 바와 같이 본 발명의 실시예에 따른 현악기 연주제어장치는 로봇에 의해서 활을 제어하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치로서, 로봇에 의해 제어되는 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 활과 현이 맞는 위치인 연주점을 측정하고, 현악기에서 연주되는 음향을 기음주파수정보와 음향의 크기정보(loudness)로 변환하는 프로세싱부(100), 기음주파수정보 및 음향의 크기정보를 각각 기 저장된 표준주파수정보 및 표준음향의 크기정보와 비교하여 프로세싱부(100)에서 측정된 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점을 보정한 변환데이터를 생성하고, 로봇을 제어하는 제어부(200)를 포함한다.
- [0039] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 현악기 연주제어장치는 프로세싱부(100)와 연결되어, 프로세싱부(100)에서 측정된 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점에 대한 실시간 정보를 화면으로 출력하는 디스플레이부(300)를 포함한다.
- [0040] 도4에 도시된 바와 같이 프로세싱부(100)는 로봇에 의해 제어되는 활의 속도를 측정하는 속도측정모듈(110), 활이 현을 누르는 압력을 측정하는 압력측정모듈(120), 연주점을 측정하는 연주점측정모듈(130) 및 현악기에서 연주되는 음향을 기음주파수정보와 음향의 크기정보로 변환하는 음향센싱모듈(140)을 포함한다.
- [0041] 속도측정모듈(110)은 로봇이 활을 움직이는 속도를 측정한다. 즉 로봇의 선형운동에 의한 속도는 활의 속도가 된다. 프로세싱부(100)는 로봇과 연결되어 로봇의 선형운동에 의한 이동속도를 실시간으로 측정한다.

[0042] 압력측정모듈(120)은 활이 현을 누르는 압력을 측정한다. 현을 누르는 압력을 측정하는 방법은 다양할 수 있으나 본 발명의 실시예에 따른 현악기 연주제어장치에서는 활의 손잡이 부분에 2축 로드셀을 설치하여 2축 로드셀에서 변화하는 출력전압값의 변화를 감지하고, 이를 통해 현에 가해지는 압력을 측정한다. 2축 로드셀은 활의 누르는 힘과 비틀리는 힘을 측정할 수 있으며, 2축 로드셀은 스트레인 게이지의 저항에 전압을 인가하면 출력단자에서 저항값의 변화에 비례하는 전압이 출력되는 원리를 이용한 것이다. 다만 이때 변하는 전기신호가 미세하기 때문에 폴브릿지 회로를 연결하고 로드셀 전용 연산증폭기(OP Amp)를 이용하여 전기신호를 증폭하여 압력을 측정한다.

[0043] 연주점측정모듈(130)은 바이올린의 브릿지에서 활이 맞는 위치까지의 거리인 연주점(sound point)을 측정한다. 연주점은 바이올린과 같은 현악기에서 음질을 결정하는 중요한 요소이다.

[0044] 현의 진동수(f)는 수학식 1과 같다.

수학식 1

$$f = (1/2L) \sqrt{T/\rho}$$

[0045] 여기서 T는 현의 장력, L은 현의 길이, ρ 는 선밀도이다.

[0046] 연주점의 변화에 따라 변화되는 주파수 식은 수학식 2와 같다.

수학식 2

$$\frac{\partial f}{\partial L} = -\frac{1}{2L^2} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

[0047] 연주점이 커질수록(L이 증가) 주파수는 감소하는 것을 수학식 2를 통해서 알 수 있다. 본 발명의 실시예에 따른 연주점측정모듈(130)은 연주점을 측정하기 위해서 핑거보드방향으로 적어도 하나 이상의 포터 인터럽트가 설치되어 있어, 현에 활이 맞는 경우 포터 인터럽트에서 이를 인식하고 연주점을 측정한다.

[0048] 음향센싱모듈(140)은 실시간으로 연주되는 음향을 STFT(Short Time Fourier Transform)을 이용하여 주파수 차원의 정보인 기음주파수정보로 변환한다. 일반적으로 바이올린 소리는 기음주파수와 하모닉 주파수를 동시에 포함한다. 이 중 음향의 음정은 기음주파수와 그 크기 값에 의해서 결정된다. 본 발명의 음향센싱모듈(140)이 STFT를 사용함으로써 비교적 간섭의 영향이 적으면서 주파수 축의 정보를 직접적으로 얻을 수 있다. STFT는 시간영역에서의 정보와 주파수영역에서의 정보를 동시 살펴보는 시간-주파수 해석기법이다. 신호의 크기를 보기 위한 방법으로 spectrogram을 사용한다.

[0049] 제어부(200)는 음향센싱모듈(140)에서 변환된 기음주파수정보와 음향의 크기정보를 각각 기 저장된 표준주파수 정보 및 표준음향의 크기정보와 비교하여 프로세싱부(100)에서 측정된 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점을 보정한 변환데이터를 생성한다. 또한 생성된 변환데이터를 이용하여 로봇을 제어한다.

[0050] 즉 제어부(200)는 실제 청각 귀환을 통해 실시간 연주되고 있는 음질을 평가하여 표준주파수와 대응되는 표준음정에 가깝도록 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점을 보정한 변환데이터를 생성한다.

[0051] 이상 본 발명의 실시예에 따른 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치의 각 구성에 대해서 살펴보았다. 이하 본 발명의 실시예에 따른 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어장치의 동작상태를 설명한다.

[0052] 로봇은 바이올린의 활을 현에 마찰시킴으로 인해서 음향을 출력한다. 출력된 음향은 소위 아날로그 신호이며, 프로세싱부(100)의 음향센싱모듈(140)은 아날로그 신호를 STFT를 이용하여 기음주파수정보로 변환한다.

[0053] 또한 실시간으로, 속도측정모듈(110)은 활의 속도를 측정하고, 압력측정모듈(120)은 활이 현을 누르는 압력을 측정하며, 연주점측정모듈(130)은 연주점을 측정한다. 제어부(200)는 실제 바이올린이 연주하고자 하는 음향, 즉 음정, 음색, 음의 크기를 비교하되, 실제 연주하고자 하는 음향이 주파수정보로 변환된 표준주파수로 표현되

며, 음의 크기는 표준음향의 크기정보로 변환된다.

[0056] 제어부(200)는 표준주파수와 실제 연주한 기음주파수간의 차이를 산출하고, 주파수간의 차이로 인하여 실제 연주하고자 하는 음정, 음색의 범위를 확연히 벗어난 경우를 러커스 잡음(raucous sound)과 표면 잡음(surface sound)으로 구별짓는다. 본 발명의 실시예에 따른 현악기 연주제어장치는 기음주파수가 표준주파수에서 $\pm 5\text{Hz}$ 범위내에 있는 경우에는 정상적인 연주로 판정하고, 이 범위를 벗어난 경우 아래 설명할 러커스 잡음(-5Hz 미만), 표면잡음($+5\text{Hz}$ 초과)으로 판정하도록 설계하였다.

[0057] 러커스 잡음은 표준주파수에 비해서 기음주파수의 크기가 감소한 경우 발생하는 음향이고, 표면 잡음은 표준주파수에 비해서 기음주파수의 크기가 증가한 경우에 발생하는 음향이다.

[0058] 먼저 본 발명의 실시예에 따른 현악기 연주제어장치가 활이 현을 누르는 압력을 제어하는 경우를 살펴본다.

[0059] 활이 현을 누르는 압력과 활의 속도, 연주점은 음정, 음색을 결정짓는 매우 중요한 인자임과 동시에 서로 밀접한 관련이 있다. "JC Schelleng(1973), "The bowed string and the player", The Journal of the Acoustical Society of America, Volume 53, Issue 1, pp.26-41"에는 활이 현을 누르는 압력과 활의 속도, 연주점간의 관계가 게시되어 있다. 활의 속도와 연주점을 고정시킨 상태에서 러커스 잡음이 발생하는 경우, 활이 현을 누르는 최대압력($F_{\max}$)을 아래 수학적 식 3과 같이 도출한다.

수학적 식 3

$$F_{\max} = \frac{2ZV_b}{p(u_s - u_d)}$$

[0060]

[0061] 여기서 u_s 와 u_d 는 각각 활과 현간의 정지마찰계수(sticking), 운동마찰계수(sliding)이며, V_b 는 활의 속도, Z 는 현의 파동저항, p 는 연주점이다.

[0062] 즉 표준주파수에 비해서 기음주파수가 과도하게 감소한 경우, 제어부(200)는 활이 현을 누르는 압력 F 가 $F_{\max}$ 를 초과한 경우로 판정하여 러커스 잡음이 표준주파수에 해당하는 음향에 가까워지도록 활이 현을 누르는 압력을 $F_{\max}$ 이하로 내리도록 로봇을 제어한다.

[0063] 이와 달리 활의 속도와 연주점을 고정시킨 상태에서 표면 잡음이 발생하는 경우, 활이 현을 누르는 최소압력($F_{\min}$)을 아래 수학적 식 4와 같이 도출한다.

수학적 식 4

$$F_{\min} = \frac{Z^2V_b}{2p^2R(u_s - u_d)}$$

[0064]

[0065] 여기서 u_s 와 u_d 는 각각 활과 현간의 정지마찰계수(sticking), 운동마찰계수(sliding)이며, V_b 는 활의 속도, Z 는 현의 파동저항, R 은 바이올린 몸체로의 에너지 손실률, p 는 연주점이다.

[0066] 표준주파수에 비해서 기음주파수가 과도하게 증가한 경우, 제어부(200)는 활이 현을 누르는 압력 F 가 $F_{\min}$ 를 하회하는 경우로 판정하여 표면 잡음을 표준주파수에 해당하는 음향에 가까워지도록 활이 현을 누르는 압력을 $F_{\min}$ 이상으로 올리도록 로봇을 제어한다.

[0067] 다만 실제 F 는 표준주파수에 가까운 음향을 재생할 수 있도록 아래 수학적 식 5를 만족해야 함은 당연하다.

수학식 5

$$F_{\min} \leq F \leq F_{\max}$$

[0068]

[0069]

만일 연주점과 활이 현을 누르는 압력을 고정시킨 상태에서 활의 속도를 변화시킬 경우를 도5를 통해 살펴본다.

[0070]

도5는 활의 속도변화에 따른 평균주파수와 평균 음향의 크기변화를 나타낸 그래프이다.

[0071]

도5에 도시된 바와 같이 바이올린의 개방 G현의 표준주파수(195Hz)와 크기를 비교해서 활의 속도가 연주에 미치는 영향을 살펴보면, 활의 속도가 10mm/sec일때 주파수의 오차율은 0.04%로 낮았으나 현의 진동이 부족하여 음향의 크기가 작아졌다.

[0072]

이와 달리 활의 속도가 110mm/sec일때는 주파수 오차율은 4.3%이고 음향의 크기도 최고값을 갖는다. 반면에 활의 속도가 200mm/sec일때는 주파수 오차율이 33.35%로 커졌으며 활의 속도가 빨라 현의 진동이 불안정해지고 표면 잡음(surface sound)이 발생했다.

[0073]

즉 연주점과 활이 현을 누르는 압력을 고정시킨 상태에서 표준주파수와 표준 음향의 크기에 맞는 활의 속도가 정해져 있고, 제어부(200)는 표준주파수와 표준음향의 크기에 맞는 활의 속도를 갖도록 로봇을 제어한다.

[0074]

마지막으로 활이 현을 누르는 압력과 활의 속도를 고정시킨 상태에서 연주점을 변화시킬 경우를 도6 내지 도9를 참고하여 설명한다.

[0075]

도6은 바이올린에 포토인터럽트가 설치된 실체사진이다.

[0076]

도7은 연주점이 P1일때 음질평가 그래프이다.

[0077]

도8은 연주점이 P3일때 음질평가 그래프이다.

[0078]

도9은 연주점이 P5일때 음질평가 그래프이다.

[0079]

도6과 같이 바이올린에 브릿지로부터 포토인터럽트를 순서대로 5개를 설치하고 브릿지에서부터 핑거보드 방향으로 (P1, P2, P3, P4, P5)로 명명한다.

[0080]

도7에 도시된 연주점이 P1인 음질평가 그래프는 연주점이 브릿지에서 가장 가까운 지점일때의 결과그래프이다.

[0081]

활이 현을 누르는 압력을 250gf, 활의 속도를 100mm/sec로 고정시키고 연주점의 변화에 따른 음질을 평가한다.

[0082]

만일 활이 현을 누르는 압력과 활의 속도가 위와 같이 고정된 상태에서 연주점만을 변화시킬 때, 개방 G현을 연주했음에도 평균 기음주파수가 414.08Hz, 음향의 크기가 71.12dB인 경우, 음향의 크기가 불안정하고 기음주파수가 상승하여 표면잡음(surface sound)이 발생한 경우로서, 활과 브릿지 사이의 거리가 짧아지면서 현이 충분히 진동을 발생시키지 못한 경우로서 제어부는 연주점이 P1인 것으로 판정하여 핑거보드 방향으로 연주점이 이동하도록 로봇을 제어한다.

[0083]

도8과 같이 평균 기음주파수가 197.95Hz이고, 음향의 크기가 74.39dB로 개방 G현과 유사한 경우에는 현재 연주점인 P3를 유지하도록 로봇을 제어한다.

[0084]

도9과 같이 평균 기음주파수가 192.75Hz이고, 음향의 크기가 63.7dB인 경우 기음주파수 크기가 감소하여 러커스 잡음이 발생한 것으로 활과 브릿지 사이의 거리가 길어지면서 현을 진동시키기 위한 활의 힘이 부족해 충분한 진동을 발생시키지 못한것으로 판정하여 제어부는 연주점을 P5에서 P3방향으로 이동시키도록 로봇을 제어한다.

[0085]

결국 본 발명의 실시예에 따른 청각귀환을 이용한 현악기 연주장치에 의하면, 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 활과 현이 맞닿는 위치인 연주점 중 두개의 인자를 고정시키고 하나의 인자만을 변화시키거나, 세개의 인자를 모두 변화시키거나, 하나의 인자를 고정시키고 두개의 인자를 변화시켜서 원하는 음향을 얻을 수 있는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주가 가능하다.

[0086]

이하 본 발명의 다른 양태인 청각 귀환을 이용한 현악기 연주방법에 대해서 도10을 통해 살펴본다. 앞선 실시예와 중복되는 구성에 대한 설명은 생략한다.

[0087]

도10은 본 발명의 실시예에 따른 청각귀환을 이용한 현악기 연주방법의 순서도이다.

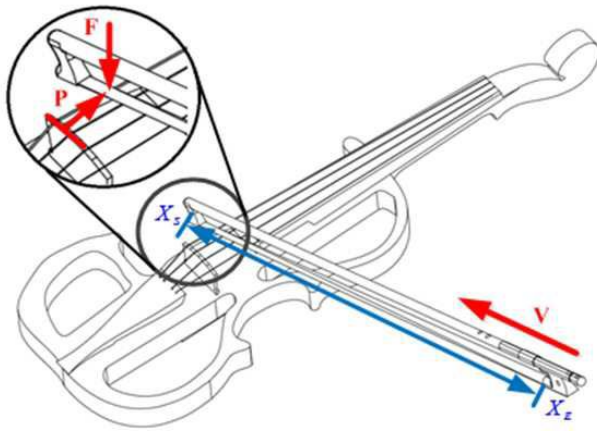
- [0088] 도10에 도시된 바와 같이 본 발명의 실시예에 따른 청각귀환을 이용한 현악기 연주방법은 현악기 연주제어장치에 의해서 구현되는 로봇에 의해서 활을 제어하는 청각 귀환을 이용한 현악기 연주제어방법으로서, 로봇에 의해 제어되는 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 활과 현이 맞닿는 위치인 연주점을 측정하는 단계(S100), 현악기에서 연주되는 음향을 기음주파수정보와 음향의 크기정보(loudness)로 변환하는 단계(S200), 상기 기음주파수정보 및 상기 음향의 크기정보를 각각 기 저장된 표준주파수정보 및 표준음향의 크기정보와 비교하는 단계(S300) 및 상기 기음주파수정보 및 상기 음향의 크기정보를 상기 표준주파수정보 및 상기 표준음향의 크기정보와 각각 비교한 결과, 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점을 보정한 변환데이터를 생성하는 단계(S400)를 포함한다.
- [0089] 본 발명의 실시예에 따른 청각귀환을 이용한 현악기 연주방법은 상기 활의 속도, 상기 활이 현을 누르는 압력 또는 상기 연주점을 보정한 변환데이터를 이용하여 로봇을 제어하는 단계(S500)를 더 포함한다.
- [0090] 로봇에 의해 제어되는 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 활과 현이 맞닿는 위치인 연주점을 측정하는 단계(S100)는 음향에 영향을 미치는 인자인 활의 속도는 로봇이 활을 선행운동시키는 속도를 실시간으로 측정할 수 있고, 활이 현을 누르는 압력은 활의 손잡이 부위에 설치되어있는 2축로봇셀을 이용하여 측정이 가능하다. 또한 연주점은 앞선 설명과 같이 바이올린에 설치되어 있는 포토 인터럽트에 의해서 측정이 가능하다.
- [0091] 현악기에서 연주되는 음향을 기음주파수정보와 음향의 크기정보로 변환하는 단계(S200)는 연주되는 음향을 STFT(Short Time Fourier Transform)을 이용하여 주파수 차원의 정보인 기음주파수정보를 생성하고, 음향의 크기정보는 음향의 크기와 관련된 정보를 디지털화하는 변환과정을 거쳐 생성한다.
- [0092] 기음주파수정보 및 음향의 크기정보를 각각 기 저장된 표준주파수정보 및 표준음향의 크기정보와 비교하는 단계(S300)는 실시간으로 연주되고 있는 바이올린의 음향과 실제 연주하고자 하는 음향을 비교한다. 실시간으로 연주되고 있는 바이올린의 음향이 러커스 잡음을 포함하고 있는 경우에는 기음주파수의 크기가 표준주파수보다 확연히 감소하는 것으로 나타나게 되며, 표면 잡음을 포함하는 경우에는 기음주파수의 크기가 표준주파수보다 확연히 증가하는 것으로 나타나게 된다. 음향의 크기정보와 표준음향의 크기정보를 비교하여 차이가 발생하는지를 비교 판단한다.
- [0093] 기음주파수정보 및 음향의 크기정보를 표준주파수정보 및 표준음향의 크기정보와 각각 비교한 결과, 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점을 보정한 변환데이터를 생성하는 단계(S400)는 잡음이 발생하지 않고 음향의 크기가 표준음향의 크기와 같거나 유사하도록 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점을 조정하기 위한 변환데이터를 생성하는 단계이다.
- [0094] 또한 활의 속도, 활이 현을 누르는 압력 또는 연주점을 보정한 변환데이터를 이용하여 로봇을 제어하는 단계(S500)는 로봇을 변환데이터를 이용하여 제어함으로써, 청각 귀환에 의해 음을 보정하여 음질을 스스로 향상시킬 수 있다.

부호의 설명

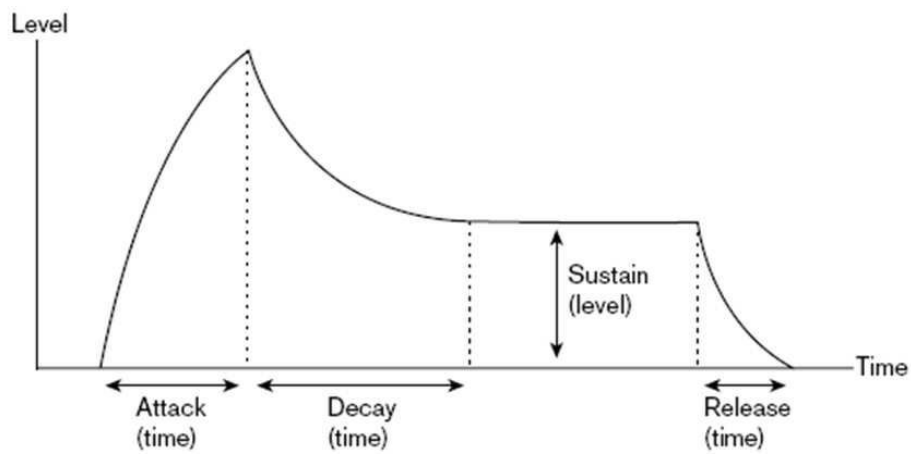
- [0095]
- | | |
|------------|-------------|
| 100 프로세싱부 | 110 속도측정모듈 |
| 120 압력측정모듈 | 130 연주점측정모듈 |
| 140 음향센싱모듈 | 200 제어부 |
| 300 디스플레이부 | |

도면

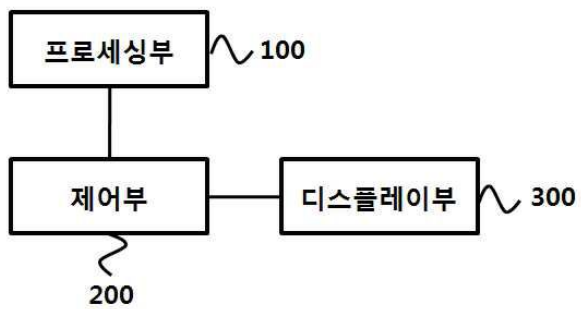
도면1



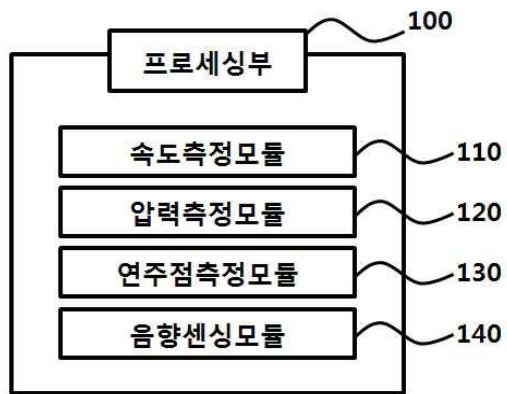
도면2



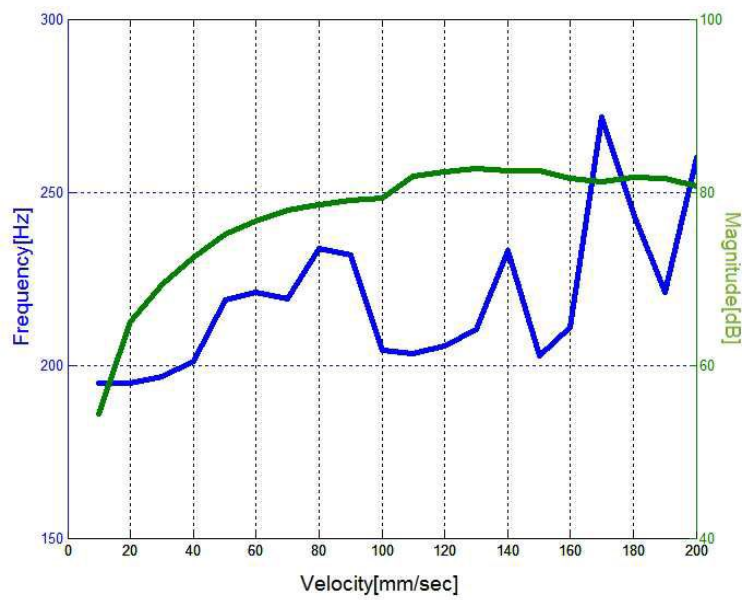
도면3



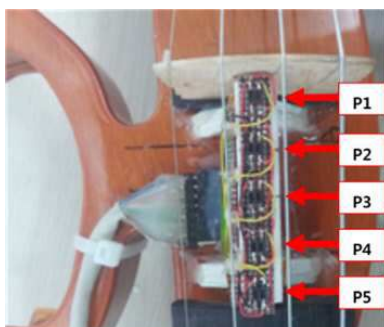
도면4



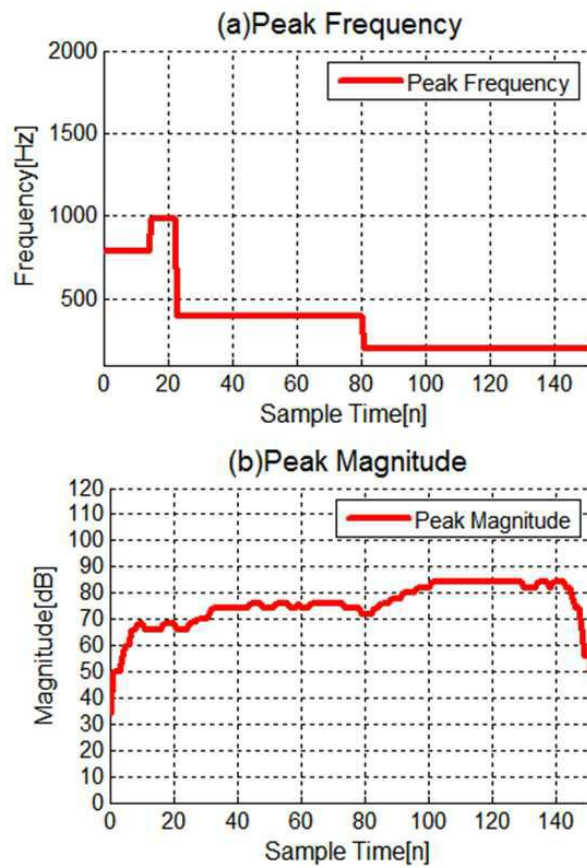
도면5



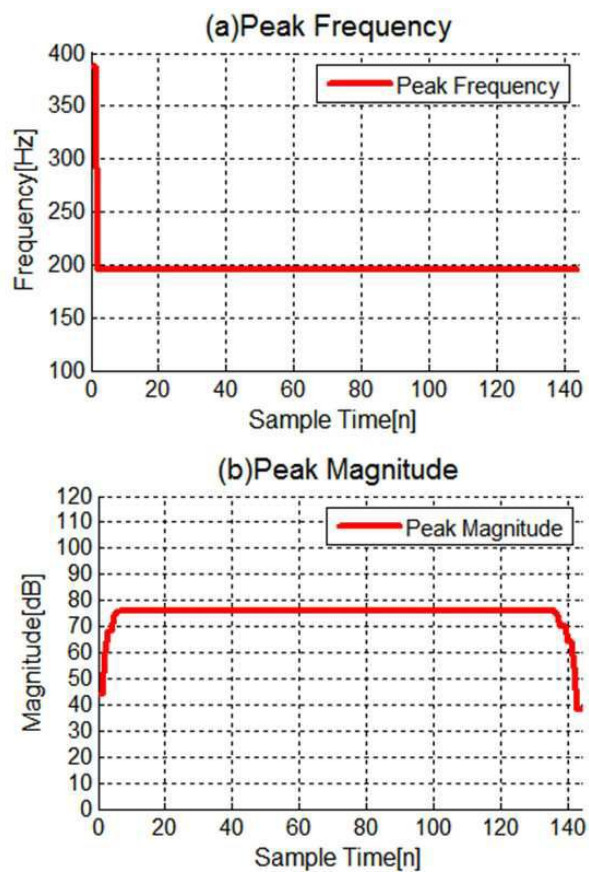
도면6



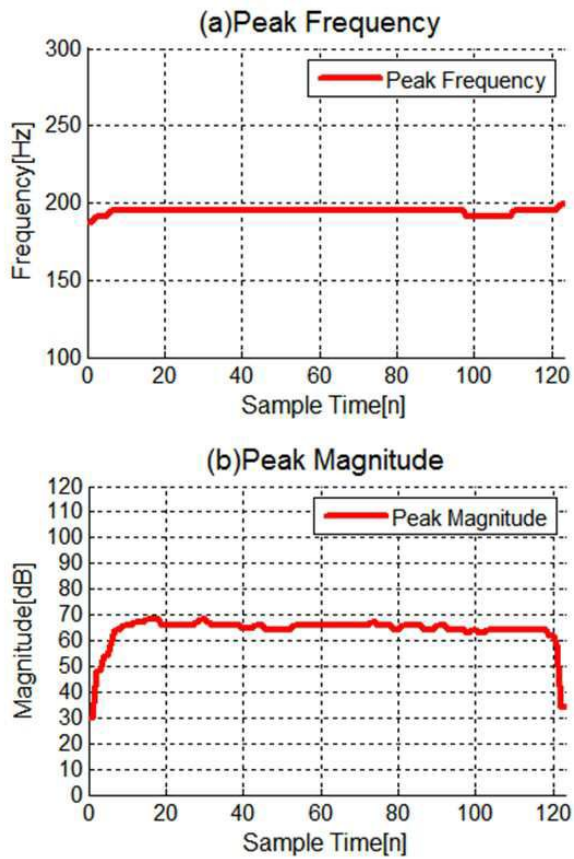
도면7



도면8



도면9



도면10

