



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0072428
(43) 공개일자 2025년05월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G10L 19/02 (2006.01) G06F 18/24 (2023.01)
G06N 20/00 (2019.01)
(52) CPC특허분류
G10L 19/0216 (2013.01)
G06F 18/24 (2023.01)
(21) 출원번호 10-2023-0159584
(22) 출원일자 2023년11월16일
심사청구일자 2023년11월16일

(71) 출원인
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
국방과학연구소
대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160 (수남동)
(72) 발명자
박형곤
경기도 고양시 일산동구 일산로 241, 110동 204호(마두동, 백마마을1단지아파트)
최은혜
세종특별자치시 새롬남로 102, 1208동 702호 (새롬동, 새뜸마을12단지)
(74) 대리인
특허법인(유한)아이시스

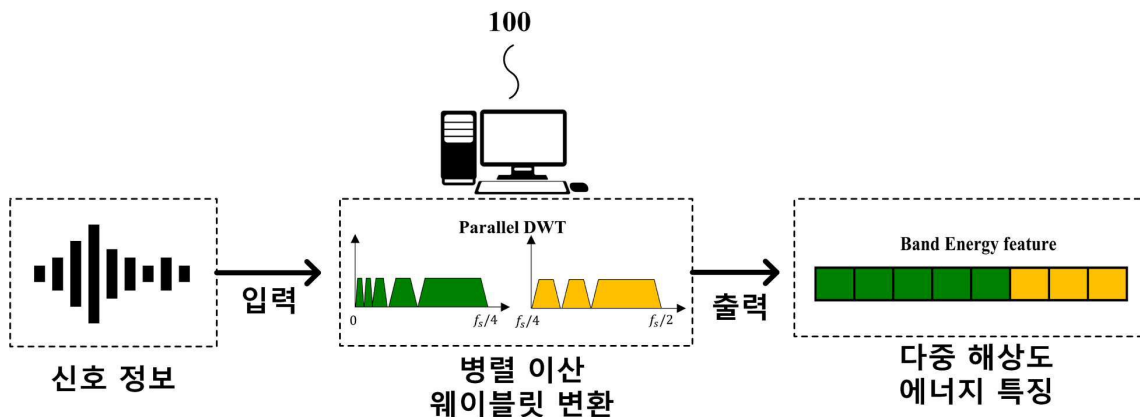
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 병렬 이산 웨이블릿 변환 기반 신호 처리 방법 및 장치

(57) 요약

병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법. 신호 처리 장치가 신호 정보를 입력 받는 단계; 상기 신호 처리 장치가 상기 신호 정보를 1번의 이산 웨이블릿 변환하여 상기 신호 정보를 저주파 대역 신호와 고주파 대역 신호로 분해하는 단계; 상기 신호 처리 장치가 상기 고주파 대역 신호에 대해 K번(K는 1이상의 자연수)의 이산 웨이블릿 변환을 수행하면서 다중 해상도 분석(Multi-Resolution Analysis, MRA)을 수행하는 단계; 및 상기 신호 처리 장치가 상기 저주파 대역 신호에 대해 J번(J는 1이상의 자연수)의 이산 웨이블릿 변환을 수행하면서 다중 해상도 분석(MRA)을 수행하는 단계; 를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06N 20/00 (2021.08)

G10L 19/0204 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711193461
과제번호	2021-0-00739-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	방송통신산업기술개발
연구과제명	분산/협력 AI 기반 5G+ 네트워크 데이터 분석 기능 및 제어 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	이화여자대학교교산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

신호 처리 장치가 신호 정보를 입력 받는 단계;

상기 신호 처리 장치가 상기 신호 정보를 1번의 이산 웨이블릿 변환하여 상기 신호 정보를 저주파 대역 신호와 고주파 대역 신호로 분해하는 단계;

상기 신호 처리 장치가 상기 고주파 대역 신호에 대해 K번(K는 1이상의 자연수)의 이산 웨이블릿 변환을 수행하면서 다중 해상도 분석(Multi-Resolution Analysis, MRA)을 수행하는 단계; 및

상기 신호 처리 장치가 상기 저주파 대역 신호에 대해 J번(J는 1이상의 자연수)의 이산 웨이블릿 변환을 수행하면서 다중 해상도 분석(MRA)을 수행하는 단계; 를 포함하는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 신호 정보는 기계장치의 작동음을 녹음한 음향 신호를 포함하는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 신호 처리 장치가 상기 고주파 대역 신호를 다중 해상도 분석(MRA)한 결과를 기반으로 제1 다중 해상도 에너지를 계산하는 단계; 및

상기 신호 처리 장치가 상기 저주파 대역 신호를 다중 해상도 분석한 결과(MRA)를 기반으로 제2 다중 해상도 에너지를 계산하는 단계; 를 더 포함하는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 다중 해상도 에너지는 상기 고주파 대역 신호에 대해 복수번의 웨이블릿 변환을 수행시 각 단계별로 추출한 신호에 대한 에너지를 포함하고,

상기 제2 다중 해상도 에너지는 상기 저주파 대역 신호에 대해 복수번의 웨이블릿 변환 수행시 각 단계별로 추출한 신호에 대한 에너지를 포함하는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 제1 다중 해상도 에너지는 상기 입력 받은 신호 정보의 에너지를 기준으로 각 단계별로 추출한 신호의 에너지의 비율을 포함하고,

상기 제2 다중 해상도 에너지는 상기 입력 받은 신호 정보의 에너지를 기준으로 각 단계별로 추출한 신호의 에너지의 비율을 포함하는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 신호 처리 장치가 상기 제1 다중 해상도 에너지 및 제2 다중 해상도 에너지를 기반으로 다중 해상도 에너지 특징(Multi-resolution energy feature)을 생성하는 단계; 를 더 포함하는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활

용한 신호 처리 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 다중 해상도 에너지 특징은 상기 제1 다중 해상도 에너지 및 상기 제2 다중 해상도 에너지를 결합(Concatenation)한 벡터의 형태를 가지는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 신호 처리 장치가 상기 다중 해상도 에너지 특징을 분석 모델에 입력하고, 상기 분석 모델의 출력값을 기반으로 상기 분석 모델의 태스크(Task)을 수행하는 단계를 더 포함하는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 분석 모델은 기계학습(Machine Learning) 기반의 모델인, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 분석 모델은 분류 모델(Classification), 검출 모델(Detection)모델, 회귀 모델(Regression), 클러스터링 모델(Clustering) 및 생성 모델(Generative Model) 중 하나인, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 분석 모델은 이상 탐지 모델(Anomaly Detection)이고,

상기 분석 모델의 태스크를 수행하는 것은 상기 신호 정보를 정상(Normal) 또는 이상(Anomalous) 중 하나로 분류하는 것인, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 이상 탐지 모델은 오토인코더(Autoencoder) 기반의 모델인, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법.

청구항 13

신호 정보를 입력 받는 입력장치;

상기 신호 정보를 1번의 이산 웨이블릿 변환하여 상기 신호 정보를 저주파 대역 신호와 고주파 대역 신호로 분하고, 상기 고주파 대역 신호에 대해 K번(K는 1이상의 자연수)의 이산 웨이블릿 변환을 수행하면서 다중 해상도 분석(Multi-Resolution Analysis, MRA)을 수행하고, 상기 저주파 대역 신호에 대해 J번(J는 1이상의 자연수)의 이산 웨이블릿 변환을 수행하면서 다중 해상도 분석(MRA)을 수행하는 연산장치; 및

상기 신호 정보를 저장하는 저장장치;를 포함하는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 연산장치는 상기 고주파 대역 신호를 다중 해상도 분석(MRA)한 결과를 기반으로 제1 다중 해상도 에너지를

계산하고, 상기 저주파 대역 신호를 다중 해상도 분석한 결과(MRA)를 기반으로 제2 다중 해상도 에너지를 계산하는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 장치.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 제1 다중 해상도 에너지는 상기 고주파 대역 신호에 대해 복수번의 웨이블릿 변환을 수행시 각 단계별로 추출한 신호에 대한 에너지를 포함하고,

상기 제2 다중 해상도 에너지는 상기 저주파 대역 신호에 대해 복수번의 웨이블릿 변환 수행시 각 단계별로 추출한 신호에 대한 에너지를 포함하는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 장치.

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 제1 다중 해상도 에너지는 상기 입력 받은 신호 정보의 에너지를 기준으로 각 단계별로 추출한 신호의 에너지의 비율을 포함하고,

상기 제2 다중 해상도 에너지는 상기 입력 받은 신호 정보의 에너지를 기준으로 각 단계별로 추출한 신호의 에너지의 비율을 포함하는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 장치.

청구항 17

제14항에 있어서,

상기 연산장치는 상기 제1 다중 해상도 에너지 및 제2 다중 해상도 에너지를 기반으로 다중 해상도 에너지 특징(Multi-resolution energy feature)을 생성하는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 장치.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 다중 해상도 에너지 특징은 상기 제1 다중 해상도 에너지 및 상기 제2 다중 해상도 에너지를 결합(Concatenation)한 벡터의 형태를 가지는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 장치.

청구항 19

제14항에 있어서,

상기 연산장치는 상기 다중 해상도 에너지 특징을 분석 모델에 입력하고, 상기 분석 모델의 출력값을 기반으로 상기 분석 모델의 테스트(Task)를 수행하는, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 장치.

청구항 20

제19항에 있어서,

상기 분석 모델은 이상 탐지 모델(Anomaly Detection)이고,

상기 분석 모델의 테스트를 수행하는 것은 상기 신호 정보를 정상(Normal) 또는 이상(Anomalous) 중 하나로 분류하는 것인, 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 이하 설명하는 기술은 병렬 이산 웨이블릿 변환을 이용해서 신호를 처리하는 방법에 대한 것이다.

배경 기술

[0002] 웨이블릿 변환(Wavelet transform)은 임의의 신호를 웨이블릿으로 분해하는 방법 중 하나이다. 웨이블릿 변환은 푸리에 변환(Fourier Transform)과는 달리 진동하는 시간이 제한된 함수를 기저함수로 사용하여 시간당 신호를

분해한다. 웨이블릿 변환은 서로 다른 해상도(주파수) 수준에서 신호를 분해하고 각 수준에서 세부 정보와 근사치를 추출하는데 사용된다. 웨이블릿 변환은 신호 처리, 데이터 압축, 이미지 압축, 패턴 인식, 음성 처리 등 다양한 곳에 활용된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 한국 등록특허 10-2262095

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 최근 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN) 기술이 발달하기 시작하면서 이를 활용한 인공지능 모델들이 개발되고 있다. 예를 들어 기계의 작동음을 획득한 뒤, 이를 인공지능 모델에 입력함으로써 기계에 고장이 있는지 분석하는 기술들이 개발되고 있다. 이처럼 인공지능 모델을 활용하여 목적하는 태스크(Task)을 수행하는 것은 많은 컴퓨팅 자원이 필요하다. 최근에는 외부 클라우드 서버로 데이터를 전송할 필요 없이 중간 노드에서 인공지능 모델을 활용해 태스크를 수행하곤 하는데, 컴퓨팅 자원의 한계로 중간노드에서 목적하는 태스크를 원활히 수행하기 힘들 수도 있다. 또한 인공지능 모델을 학습시키기 위해서는 많은 양의 품질 좋은 학습 데이터가 필요하거나 모델을 학습시키기 위해 많은 컴퓨팅 자원과 시간이 필요하다.

[0005] 이하 설명하는 기술은 종래 이산 웨이블릿 변환(Discrete wavelet transform, DWT)을 확장한 병렬 이산 웨이블릿 변환(Parallel discrete wavelet transform, PDWT)을 통해 원 신호를 압축하는 방법을 제공하고자 한다. 또한 이하 설명하는 기술은 병렬 이산 웨이블릿 변환을 통해 고주파 대역 신호를 다수 포함하고 있는 신호의 특징 잘 반영하여 원 신호를 압축하는 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 전술한 과제를 해결하기 위해 이하 설명하는 기술은 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법을 제공한다.

[0007] 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법. 신호 처리 장치가 신호 정보를 입력 받는 단계; 상기 신호 처리 장치가 상기 신호 정보를 1번의 이산 웨이블릿 변환하여 상기 신호 정보를 저주파 대역 신호와 고주파 대역 신호로 분해하는 단계; 상기 신호 처리 장치가 상기 고주파 대역 신호에 대해 K번(K는 1이상의 자연수)의 이산 웨이블릿 변환을 수행하면서 다중 해상도 분석(Multi-Resolution Analysis, MRA)을 수행하는 단계; 및 상기 신호 처리 장치가 상기 저주파 대역 신호에 대해 J번(J는 1이상의 자연수)의 이산 웨이블릿 변환을 수행하면서 다중 해상도 분석(MRA)을 수행하는 단계; 를 포함한다.

발명의 효과

[0008] 이하 설명하는 기술을 활용하면 신호를 다중 해상도 에너지 특징으로 압축하여 전처리 및 시스템 메모리 사용량을 줄일 수 있다. 이하 설명하는 기술을 이용하면 압축된 신호 특징을 사용하기 때문에 분석 모델을 구축하는데 필요한 학습시간을 줄일 수 있다. 또한 분석 모델을 경량화 하여 연산량을 감소시킬 수 있다. 이를 통해 컴퓨팅 자원을 효율적으로 활용할 수 있다.

[0009] 이하 설명하는 기술은 이상을 탐지하는 모델에 적용될 수 있다. 이를 통해 음향 신호를 활용하여 이상 상태를 감지할 수 있는 효율적이고 경량화 된 이상 탐지 모델을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도1은 신호 처리 장치가 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법을 수행하는 전체적인 과정을 보여준다.

도2는 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법의 실시예 중 하나의 순서도(200)이다.

도3은 병렬 이산 웨이블릿 변환의 하나의 실시예를 보여준다.

도4 내지 도10은 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용하여 음향 신호를 처리하고, 처리된 음향 신호를 이상 탐지 모델에 입력 하여 이상이 있는지 여부를 분석한 실험결과에 대한 것이다.

도4는 이상 여부를 탐지한 과정의 전체적인 모습을 보여준다.

도5는 실험에 이용된 MIMII의 데이터셋에 포함된 데이터의 개수를 보여준다.

도6은 실험 대상이 되는 이상 탐지 모델(이하 PDWT 모델)과 대조군인 베이스라인(Baseline) 모델의 토폴로지(Topologies)를 보여준다.

도7은 PDWT 모델과 베이스라인 모델의 이상 탐지 성능을 평가한 결과이다.

도8은 AUC 및 pAUC의 단위 정보 밀도(Unit information density)을 비교한 실험결과이다.

도9는 모델의 복잡도(Complexity)를 평가한 결과이다. 도9(a)는 학습(Training) 시간을 분석한 실험결과이다. 도9(b)는 전처리(preprocessing) 시간을 분석한 실험결과이다.

도10은 오토인코더의 구조가 PDWT 모델에 영향을 주는 정도를 분석한 실험결과이다. 도10(a)는 AUC를 분석한 결과이다. 도10(b)는 pAUC를 분석한 결과이다.

도11은 신호 처리 장치(300)의 실시예 중 하나이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 이하 설명하는 기술은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있다. 명세서의 도면에 이하 설명하는 기술의 특정 실시 형태가 기재될 수 있다. 그러나, 이는 이하 설명하는 기술의 설명을 위한 것이며 이하 설명하는 기술을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니다. 따라서 이하 설명하는 기술의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경 물, 균등 물 내지 대체 물이 이하 설명하는 기술에 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0012] 다양한 구성요소들을 설명하기 위해서 제1, 제2, A, B 등의 용어가 사용될 수 있다. 하지만 상기 용어는 단지 하나의 구성요소를 다른 구성요소들과 구별하기 위해서 사용될 뿐, 상기 용어로 해당 구성요소들을 한정하려고 하는 것이 아니다. 예를 들어, 이하 설명하는 기술의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. “및/또는” 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0013] 이하 사용되는 용어에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 해석되지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, “포함한다” 등의 용어는 기재된 특징, 개수, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 의미하는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 개수, 단계 동작 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0014] 도면에 대한 상세한 설명을 하기에 앞서, 본 명세서에서의 구성부들에 대한 구분은 각 구성부가 담당하는 주기능 별로 구분한 것에 불과함을 명확히 하고자 한다. 즉, 이하에서 설명할 2개 이상의 구성부가 하나의 구성부로 합쳐지거나 또는 하나의 구성부가 보다 세분화된 기능별로 2개 이상으로 분화되어 구비될 수도 있다. 그리고 이하에서 설명할 구성 부 각각은 자신이 담당하는 주기능 이외에도 다른 구성부가 담당하는 기능 중 일부 또는 전부의 기능을 추가적으로 수행할 수도 있으며, 구성부 각각이 담당하는 주기능 중 일부 기능이 다른 구성부에 의해 전담되어 수행될 수도 있음은 물론이다.
- [0015] 또, 방법 또는 동작 방법을 수행함에 있어서, 상기 방법을 이루는 각 과정들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않은 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 과정들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.
- [0017] 이하 도1을 통해 신호 처리 장치가 병렬 이산 웨이블릿 변환(Parallel discrete wavelet transform, PDWT)을 활용한 신호 처리 방법을 수행하는 전체적인 과정을 설명한다.
- [0018] 도1은 신호 처리 장치가 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법을 수행하는 전체적인 과정을 보여준

다.

- [0019] 신호 처리 장치는 신호 정보를 입력 받을 수 있다. 신호 처리 장치는 신호 정보를 1번의 이산 웨이블릿 변환하여 신호 정보를 저주파 대역 신호와 고주파 대역 신호로 분해할 수 있다. 신호 처리 장치는 고주파 대역 신호에 대해 K번(K는 1이상의 자연수)의 이산 웨이블릿 변환을 수행하면서 다중 해상도 분석(Multi-Resolution Analysis, MRA)을 수행할 수 있다. 신호 처리 장치는 고주파 대역 신호를 다중 해상도 분석(MRA)한 결과를 기반으로 제1 다중 해상도 에너지를 계산할 수 있다. 신호 처리 장치는 저주파 대역 신호에 대해 J번(J는 1이상의 자연수)의 이산 웨이블릿 변환을 수행하면서 다중 해상도 분석(MRA)을 수행할 수 있다. 신호 처리 장치는 저주파 대역 신호를 다중 해상도 분석한 결과(MRA)를 기반으로 제2 다중 해상도 에너지를 계산할 수 있다. 신호 처리 장치는 제1 다중 해상도 에너지 및 제2 다중 해상도 에너지를 기반으로 다중 해상도 에너지 특징(Multi-resolution energy feature)을 생성할 수 있다.
- [0020] 더 나아가 신호 처리 장치는 다중 해상도 에너지 특징을 분석 모델에 입력할 수 있다. 신호 처리 장치는 분석 모델의 출력값을 기반으로 분석 모델의 태스크(Task)을 수행할 수 있다.
- [0022] 이하 도2 및 도3을 통해 신호 처리 장치가 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법을 수행하는 과정을 구체적으로 설명한다.
- [0023] 도2는 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법의 실시예 중 하나의 순서도(200)이다. 도3은 병렬 이산 웨이블릿 변환의 하나의 실시예를 보여준다.
- [0025] 신호 처리 장치는 신호 정보를 입력 받을 수 있다(210).
- [0026] 신호 정보는 신호 처리의 대상이 되고자 하는 신호에 대한 정보를 의미할 수 있다.
- [0027] 일 실시예로 신호 정보는 소리(음향) 신호(Audio Signal), 영상 신호(Video Signal) 및 센서 신호(Sensor Signal) 등을 포함할 수 있다.
- [0028] 예를 들어 신호 정보는 기계장치 등의 이상(Anomaly)가 있는지를 탐지하기 위하여 기계장치가 가동할 때 발생하는 음향에 대한 신호를 포함할 수 있다. 이 경우 신호 정보는 정상일때의 신호(Normal signal)에 대한 정보, 고장 신호(Fault signal)에 대한 정보 및 잡음 신호(Noise signal)에 대한 정보를 포함할 수도 있다.
- [0030] 신호 처리 장치는 신호 정보를 1번의 이산 웨이블릿 변환하여 신호 정보를 고주파 대역 신호와 저주파 대역 신호로 분해할 수 있다(220).
- [0031] 이산 웨이블릿 변환은 웨이블릿 변환을 사용해서 신호를 표현하는 방법일 수 있다. 이산 웨이블릿 변환은 필터뱅크로 동작하여 신호를 다중 해상도의 대역(Multi-resolution band) 신호로 분해하는 방법일 수 있다. 즉 이산 웨이블릿 변환은 신호를 서로 다른 수준의 해상도에서 다양한 주파수 성분으로 분해하는 변환일 수 있다.
- [0032] 일 실시예로 신호 처리 장치는 도3과 같이 신호 정보($x(t)$)에 대해 단일 수준의 이산 웨이블릿 변환(Single Level DWT)을 수행하여, 신호 정보($x(t)$)를 저주파 대역 신호($x_L(t)$)와 고주파 대역 신호($x_H(t)$)로 분해할 수 있다.
- [0034] 신호 처리 장치는 고주파 대역 신호에 대해 K번(K는 1이상의 자연수)의 이산 웨이블릿 변환을 수행하면서 다중 해상도 분석(Multi-Resolution Analysis, MRA)을 수행할 수 있다(230).
- [0035] 일 실시예로 도3과 같이 신호 처리 장치는 고주파 대역 신호($x_H(t)$)에 대하여 2번(K=2)의 이산 웨이블릿 변환(2nd decomposition, 3rd decomposition)을 수행할 수 있다.
- [0036] 수학식1은 고주파 대역 신호($x_H(t)$)에 대하여 다중 해상도 분석을 수행한 것을 보여준다.

수학식 1

$$x_H(t) = A_{K,n}^H \phi_{K,n}(t) + \sum_{k=1}^K \sum_{n=0}^{2^{K-k}-1} D_{k,n}^H \psi_{k,n}(t)$$

[0037]

[0038] 수학식1에서 $\phi(t)$ 는 스케일링 함수(scaling function)을 의미한다. 수학식1에서 $\psi(t)$ 는 웨이블릿 함수(wavelet function)을 의미한다.

[0039] 고주파 대역 신호는 다중 해상도 분석을 통해 스케일링 함수의 하나의 근사계수와, 웨이블릿 함수의 복수의 상세계수들의 가중합으로 표현될 수 있다.

[0041] 신호 처리 장치는 고주파 대역 신호를 다중 해상도 분석(MRA)한 결과를 기반으로 제1 다중 해상도 에너지를 계산할 수 있다(240).

[0042] 제1 다중 해상도 에너지는 고주파 대역 신호에 대해 복수번의 웨이블릿 변환을 수행시 각 단계별로 추출한 신호에 대한 에너지를 포함할 수 있다.

[0043] 제1 다중 해상도 에너지는 원 신호의 에너지 대비 각 단계별로 추출한 신호에 대한 에너지를 의미할 수 있다. 즉 제1 다중 해상도 에너지는 입력 받은 신호 정보의 에너지를 기준으로 각 단계별로 추출한 신호의 에너지의 비율이 얼마나 되는지를 포함할 수 있다.

[0044] 수학식2는 제1 다중 해상도 에너지를 계산할 때 이용하는 식일 수 있다.

수학식 2

$$E_0^H = \frac{(A_{K,n}^H)^2}{E_{tot}}, E_k^H = \frac{(D_{k,n}^H)^2}{E_{tot}}, k = \{1, \dots, K\}$$

[0045]

[0046] 수학식2와 같이 저주파 대역 신호에 대하여 K번의 이산 웨이블릿을 수행한 경우 제1다중 해상도 에너지 특징은 총 K+1개의 값을 가질 수 있다(E_0^H , E_1^H , E_2^H , ..., E_K^H). 예를 들어 K가 2인 경우 제1 다중 해상도 에너지는 총3개의 값을 가질 수 있다(E_0^H , E_1^H 및 E_2^H).

[0048] 신호 처리 장치는 저주파 대역 신호에 대해 J번(J는 1이상의 자연수)의 이산 웨이블릿 변환을 수행하면서 다중 해상도 분석(MRA)을 수행할 수 있다(250).

[0049] 일 실시예로 도3와 같이 신호 처리 장치는 저주파 대역 신호 $x_L(t)$ 에 대하여 3번(J=3)의 이산 웨이블릿 변환(2nd decomposition, 3rd decomposition, 4th decomposition)을 수행할 수 있다.

[0050] 수학식3은 저주파 대역 신호($x_L(t)$)에 대하여 다중 해상도 분석을 수행한 것을 보여준다.

수학식 3

$$x_L(t) = A_{J,n}^L \phi_{J,n}(t) + \sum_{j=1}^J \sum_{n=0}^{2^{J-j}-1} D_{j,n}^L \psi_{j,n}(t)$$

[0051]

- [0052] 수학식3에서 $\phi(t)$ 는 스케일링 함수(scaling function)을 의미한다. 수학식3에서 $\psi(t)$ 는 웨이블릿 함수(wavelet function)을 의미한다.
- [0053] 저주파 대역 신호는 다중 해상도 분석을 통해 스케일링 함수의 하나의 근사계수와, 웨이블릿 함수의 복수의 상세계수들의 가중합으로 표현될 수 있다.
- [0054] 신호 처리 장치는 저주파 대역 신호를 다중 해상도 분석한 결과(MRA)를 기반으로 제2 다중 해상도 에너지를 계산할 수 있다(260).
- [0055] 제2 다중 해상도 에너지는 저주파 대역 신호에 대해 복수번의 웨이블릿 변환을 수행시 각 단계별로 추출한 신호에 대한 에너지를 포함할 수 있다.
- [0056] 제2 다중 해상도 에너지는 원 신호의 에너지 대비 각 단계별로 추출한 신호에 대한 에너지를 의미할 수 있다. 즉 제2 다중 해상도 에너지는 입력 받은 신호 정보의 에너지를 기준으로 각 단계별로 추출한 신호의 에너지의 비율이 얼마나 되는지를 포함할 수 있다.
- [0057] 수학식4는 제2 다중 해상도 에너지를 계산할 때 이용하는 식일 수 있다.

수학식 4

$$E_0^L = \frac{(A_{J,n}^L)^2}{E_{tot}}, E_j^L = \frac{(D_{j,n}^L)^2}{E_{tot}}, j = \{1, \dots, J\}$$

- [0058]
- [0059] 수학식4와 같이 저주파 대역 신호에 대하여 J번의 이산 웨이블릿을 수행한 경우 제2다중 해상도 에너지 특징은 총 J+1개의 값을 가질 수 있다. ($E_0^L, E_1^L, E_2^L, \dots, E_J^L$) 예를 들어 J가 3인 경우 제2 다중 해상도 에너지 특징은 총 4개의 값을 가질수 있다(E_0^L, E_1^L, E_2^L , 및 E_3^L)
- [0061] 제1 다중 해상도 에너지와 제2 다중 해상도 에너지를 계산하는 것은 동시에 진행될 수 있다. 즉 고주파 대역 신호 및 저주파 대역 신호에 대하여 이산 웨이블릿 변환을 수행하는 것은 동시에 진행될 수 있다. 다시말해 이산 웨이블릿 변환은 저주파 대역 신호 및 고주파 대역 신호에 대해 병렬로 적용될 수 있다. 이와 같이 첫번째 이산 웨이블릿 변환 후 생성되는 저주파 대역 신호 및 고주파 대역 신호에 대해 병렬로 이산 웨이블릿 변환을 수행하는 것을 병렬 이산 웨이블릿 변환(Parallel discrete wavelet transform, PDWT)이라고 부를 수 있다.
- [0062] 고주파 대역 신호 및 저주파 대역 신호에 대한 이산 웨이블릿 변환은 서로 다른 횟수로 진행될 수 있다. 즉 K값과 J값은 서로 다를 수 있다. 예를 들어 고주파 대역 신호의 이산 웨이블릿 변환은 2번을 수행하고 저주파 대역의 이산 웨이블릿 변환은 3번을 수행할 수 있다.
- [0063] 종래 이산 웨이블릿 변환이 적용된 신호는 고주파 대역에서는 낮은 시간 해상도를 갖기 때문에, 고주파 신호를 다수 포함하고 있는 신호의 특징을 파악하는데 한계점이 있다. 병렬 이산 웨이블릿 변환은 저주파 대역 신호뿐만 아니라 고주파 대역 신호에 대해서도 이산 웨이블릿 변환을 수행하기 때문에 이와 같은 문제점을 해결할 수 있다.
- [0065] 신호 처리 장치는 제1 다중 해상도 에너지 및 제2 다중 해상도 에너지를 기반으로 다중 해상도 에너지 특징(Multi-resolution energy feature)을 생성할 수 있다(270).
- [0066] 다중 해상도 에너지 특징은 제1 다중 해상도 에너지 및 제2 다중 해상도 에너지를 결합한 것일 수 있다.
- [0067] 수학식5는 다중 해상도 에너지 특징(f)에 대한 식이다.

수학식 5

$$\mathbf{f} = \{E_0^L, E_1^L, \dots, E_J^L, E_0^H, E_1^H, \dots, E_K^H\}$$

[0068]

[0069] 수학식5와 같이 다중 해상도 에너지 특징($\mathbf{f}$)은 제1 다중 해상도 에너지 및 제2 다중 해상도 에너지를 결합(Concatenation)한 벡터의 형태를 가질 수 있다. 즉 다중 해상도 에너지 특징은 총 J+K+2의 차원을 가진 벡터의 형태를 가질 수 있다.

[0070] 다중 해상도 에너지 특징은 입력 받은 신호 정보에 비해 압축된 크기를 가질 수 있다. 즉 다중 해상도 에너지 특징은 원 신호에 비하여 작은 양의 에너지 크기를 가질 수 있다. 이를 통해 분석 모델이 이용할 수 있는 연산량이 대폭 감소될 수 있어 분석 모델을 경량화 할 수 있다.

[0072] 더 나아가 신호 처리 장치는 상기 다중 해상도 에너지 특징을 분석 모델에 입력할 수 있다. 더 나아가 신호 처리 장치는 분석 모델의 출력값을 기반으로 분석 모델의 테스크(task)를 수행할 수 있다.

[0073] 분석 모델은 기계학습(machine learning) 기반의 모델일 수 있다. 기계학습은 컴퓨팅 장치가 데이터를 통해 학습하여 데이터의 패턴을 찾아내 분석하는 알고리즘중 하나일 수 있다. 기계학습 모델은 다양한 유형의 모델이 될 수 있다. 기계학습 모델은 결정 트리, RF(random forest), KNN(K-nearest neighbor), 나이브 베이즈(Naive Bayes), SVM(support vector machine), ANN(artificial neural network) 등이 될 수도 있다. ANN은 DNN(Deep Neural Network)가 될 수 있으며, 이는 CNN(Convolutional Neural Network), RNN(Recurrent Neural Network), RBM(Restricted Boltzmann Machine), DBN(Deep Belief Network) 및 GAN(Generative Adversarial Network), RL(Relation Networks) 등이 포함될 수도 있다.

[0074] 분석 모델은 모델의 테스크(Task)에 따라 분류 모델(Classification), 검출 모델(Detection)모델, 회귀 모델(Regression), 클러스터링 모델(Clustering) 및 생성 모델(Generative Model) 중 하나일 수 있다.

[0075] 분석 모델은 이상 탐지 모델(Anomaly Detection)일 수 있다. 이상 탐지 모델은 오토인코더 기반의 모델일 수 있다. 일 실시예로 이상 탐지 모델은 다중 해상도 에너지 특징을 기반으로 이상 점수(Anomaly score)를 계산한 뒤, 계산된 이상 점수를 기반으로 이상이 있는지 여부를 판단하는 모델일 수 있다.

[0076] 전술한 바와 같이 다중 해상도 에너지 특징은 원 신호보다 적은 특징을 계산하기 때문에 학습에 필요한 파라미터가 많지 않으며 학습되는 시간이 빠를 수 있다.

[0078] 이하 도4 내지 도10을 통해 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용하여 음향 신호를 처리하고, 처리된 음향 신호를 이상 탐지 모델에 입력 하여 이상이 있는지 여부를 분석한 실험결과에 대해 살펴본다.

[0080] 도4는 이상 여부를 탐지한 과정의 전체적인 모습을 보여준다. 먼저 일정기간 동안 측정된 사운드 데이터 셋($\mathbf{x}$)을 획득할 수 있다. 이후 사운드 데이터 셋에서 특징을 추출(Feature extraction)한다. 특징 추출은 전술한 병렬 이산 웨이블릿 변환을 이용해서 다중 해상도 에너지 특징을 추출하는 과정을 의미할 수 있다. 추출된 특징은 결정모델(Decision Model)에 입력된다. 결정 모델은 이상 점수(Anomaly score)를 계산한다. 계산된 이상 점수가 임계값 이상인 경우 이상이 있는 사운드로 판단할 수 있다.

[0082] 도5는 실험에 이용된 MIMII의 데이터셋에 포함된 데이터의 개수를 보여준다. 실험을 위한 데이터 셋은 MIMII(malfunctioning industrial machine investigation and inspection)가 사용되었다. MIMI 데이터 셋은 산업기계(Fan, Pump, Slider 및 Valve)가 작동(normal) 또는 고장(anomalous) 시의 작동음 데이터를 포함한다. MIMII데이터 셋은 실제 공장에서 녹음된 환경 소음(noise)을 더 포함하고 있다. 실제 공장에서 녹음된 환경 소음은 신호 대 잡음비(signal-to-noise, SNRs)가 0dB 및 6dB이다. MIMII데이터 셋은 10초 길이의 작동음 데이터

를 포함한다. MIMII 데이터 셋은 16kHz의 샘플링 속도(sampling rate)로 산업기계 작동음을 측정한 데이터를 포함한다.

- [0084] 도6은 실험 대상이 되는 이상 탐지 모델(이하 PDWT 모델)과 대조군인 베이스라인(Baseline) 모델의 토폴로지(Topologies)를 보여준다. PDWT 모델과 베이스라인 모델은 오토인코더(Autoencoder) 기반의 모델이다. PDWT 모델과 베이스라인 모델은 인코더 및 디코더를 포함한다.
- [0085] PDWT 모델은 전술한 병렬 이산 웨이블릿 변환을 통해 처리한 다중 해상도 에너지 특징을 입력 받을 수 있다. PDWT 모델은 서로 다른 버전을 가질 수 있다. PDWT 모델은 입력 레이어 및 출력 레이어 내의 유닛 개수가 다르거나($X0.5$, $X2$), 내부 레이어의 노드(유닛) 또는 은닉 레이어의 개수가 다를 수 있다(Gen1, Gen2).
- [0086] 베이스라인(Baseline) 모델은 로그-멜 스펙트로그램(Log-Mel spectrogram)을 입력 데이터로 이용하는 이상탐지 모델이다. 베이스라인 모델은 로그-멜 스펙트로그램을 계산하기 위하여 FFT(Fast Fourier Transform, FFT)를 수행한다. 베이스 라인 모델은 오토인코더 기반의 모델이며 640차원의 입력 레이어 및 출력 레이어를 가진다.
- [0088] 도7은 PDWT 모델과 베이스라인 모델의 이상 탐지 성능을 평가한 결과이다.
- [0089] PDWT모델은 베이스라인 모델과 비교할 때 AUC(Area Under the ROC Curve) 및 pAUC(Partial AUC)값이 낮지 않다. 구체적으로 PDWT모델의 AUC는 베이스라인 모델과 비교할 때 환경소음이 6dB인 경우 4%, 환경소음이 0dB인 경우 12%정도만 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 PDWT 모델은 베이스라인 모델과 비교할 때 pAUC는 환경소음이 6dB인 경우 4%, 환경소음이 0dB인 경우 10% 정도만 감소하는 것을 확인할 수 있다.
- [0090] PDWT모델은 12차원의 특징을 입력 받는다. 베이스라인 모델은 640차원의 특징을 입력 받는다. PDWT모델은 베이스라인 모델 비하여 입력 되는 값의 차원이 98.13% 감소되어 있다. 또한 PDWT모델은 베이스라인 모델에 비하여 학습해야 할 파라미터의(Trainable parameters) 개수가 99.89%까지 감소되어 있는 것을 확인할 수 있다.
- [0091] 따라서 PDWT 모델은 베이스라인 모델보다 경량화되어 있으면서도, 심각한 성능 저하 없이 이상(비정상적인 기계 소리)을 잘 감지할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.
- [0093] 도8은 AUC 및 pAUC의 단위 정보 밀도(Unit information density)을 비교한 실험결과이다.
- [0094] PDWT 모델의 단위 정보 밀도는 AUC의 경우 23.85를 가진다. PDWT 모델의 단위 정보 밀도는 pAUC의 경우 20.46을 가진다.
- [0095] 베이스라인 모델의 단위 정보 밀도는 AUC의 경우 2.14를 가진다. 베이스라인 모델의 단위 정보 밀도는 pAUC는 1.84를 가진다.
- [0096] 따라서 PDWT 모델은 성능을 유지하면서 동일한 크기의 메모리에 더 많은 정보를 압축할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.
- [0098] 도9는 모델의 복잡도(Complexity)를 평가한 결과이다. 도9(a)는 학습(Training) 시간을 분석한 실험결과이다. 도9(b)는 전처리(preprocessing) 시간을 분석한 실험결과이다.
- [0099] 모델의 복잡도를 평가하기 위하여 데이터 전처리 시간 및 모델의 학습시간을 측정하였다.
- [0100] PDWT 모델이 베이스라인 모델 보다 특징 추출 면에서 11배 정도 빠르다. 이는 베이스라인 모델은 시간 프레임을 여러 개의 시간 프레임으로 분할하여 FFT를 수행하는 반면, PDWT 모델은 단일 프레임에서 PDWT를 수행하기 때문일 수 있다.
- [0101] PDWT 모델이 베이스라인 모델보다 75배 이상 빠르게 학습된다. 이는 입력 특징의 크기가 줄어들기 때문에 모델을 경량화 할 수 있어 학습 시간이 단축된 것 때문일 수 있다.
- [0103] 도10은 오토인코더의 구조가 PDWT 모델에 영향을 주는 정도를 분석한 실험결과이다. 도10(a)는 AUC를 분석한 결

과이다. 도10(b)는 pAUC을 분석한 결과이다.

- [0104] PDWT(X0.5)모델의 경우 PDWT(ref) 모델에 비하여 AUC가 2% 저하되는 것을 확인할 수 있다. 반면 PDWT(X2) 모델의 경우 PDWT(ref)모델에 비하여 AUC가 2% 개선되고 pAUC가 2% 저하되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 동일한 레이어 개수를 가진 모델에서 레이어에 포함된 유닛수가 이상 탐지 성능에 미치는 영향이 작다는 것을 확인할 수 있다.
- [0105] PDWT(gen1)모델의 경우 PDWT(ref)모델의 AUC 및 pAUC와 비슷하다. PDWT(gen2)모델의 경우 모델의 은닉 레이어 수가 줄어들었을 때, PDWT(ref)모델의 AUC 및 pAUC보다 3% 및 3.5% 향상된것을 확인할 수 있다. 따라서 모델의 구조가 이상 탐지 성능에 미치는 영향이 작다는 것을 확인할 수 있다.
- [0107] 이하 도11을 통해 신호 처리 장치에 대해 설명한다.
- [0108] 도11은 신호 처리 장치(300)의 실시예 중 하나의 구성이다.
- [0109] 신호 처리 장치(300)는 도1에서 설명한 신호 처리 장치(100)에 해당할 수 있다. 즉 신호 처리 장치(300)는 전술한 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법을 수행하는 장치일 수 있다.
- [0110] 신호 처리 장치(300)는 물리적으로 다양한 형태로 구현될 수 있다. 예를 들어 신호 처리 장치(300)는 PC, 노트북, 스마트기기, 서버 또는 데이터처리 전용 칩셋 등의 형태를 가질 수 있다.
- [0111] 신호 처리 장치(300)는 입력장치(310), 저장장치(320), 연산장치(330), 출력장치(340), 인터페이스 장치(350) 및 통신장치(360)를 포함할 수 있다.
- [0112] 입력장치(310)는 일정한 명령 또는 데이터를 입력 받는 인터페이스 장치(키보드, 마우스, 터치스크린 등)를 포함할 수도 있다. 입력장치(310)는 별도의 저장장치(USB, CD, 하드디스크 등)를 통하여 정보를 입력 받는 구성을 포함할 수도 있다. 입력장치(310)는 입력 받는 데이터를 별도의 측정장치를 통하여 입력 받거나, 별도의 DB를 통하여 입력 받을 수도 있다. 입력장치(310)는 통신장치(360)을 통해 데이터를 유선 또는 무선 통신으로 입력 받을 수도 있다.
- [0113] 입력장치(310)는 전술한 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법을 수행하는데 필요한 정보를 입력 받을 수 있다. 입력장치(310)는 전술한 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법을 수행하는데 필요한 모델을 입력 받을 수 있다. 입력장치(310)는 신호 정보를 입력 받을 수 있다.
- [0114] 저장장치(320)는 일정한 정보를 저장하는 장치가 될 수도 있다. 저장장치(320)는 입력장치(310)를 통해 입력 받은 정보를 저장할 수 있다. 저장장치(320)는 연산장치(330)가 연산하는 과정에서 생성되는 정보를 저장할 수 있다. 즉 저장장치(320)는 메모리를 포함할 수 있다.
- [0115] 저장장치(320)는 전술한 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법을 수행하는데 필요한 정보를 저장할 수 있다. 저장장치(320)는 전술한 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법을 수행하는데 필요한 모델을 저장할 수 있다. 저장장치(320)는 신호 정보를 저장할 수 있다. 저장장치(320)는 분석 모델을 저장할 수 있다.
- [0116] 연산장치(330)는 데이터를 처리하고, 일정한 연산을 처리하는 프로세서, AP, 프로그램이 임베디드 된 칩과 같은 장치일 수 있다.
- [0117] 연산장치(330)는 신호 처리 장치(300)를 제어하는 제어신호를 생성할 수 있다. 연산장치(330)는 신호 처리 장치(300)에 포함된 입력장치(310), 저장장치(320), 출력장치(340), 인터페이스 장치(350) 및 통신장치(360)을 제어하는 제어신호를 생성할 수 있다.
- [0118] 연산장치(330)는 전술한 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법을 수행하는데 필요한 연산을 할 수 있다.
- [0119] 연산장치(330)는 신호 정보를 1번의 이산 웨이블릿 변환하여 신호 정보를 저주파 대역 신호와 고주파 대역 신호로 분해할 수 있다. 연산장치(330)는 고주파 대역 신호에 대해 K번(K는 1이상의 자연수)의 이산 웨이블릿 변환을 수행하면서 다중 해상도 분석(Multi-Resolution Analysis, MRA)을 수행할 수 있다. 연산장치(330)는 고주파 대역 신호를 다중 해상도 분석(MRA)한 결과를 기반으로 제1 다중 해상도 에너지를 계산할 수 있다. 연산장치(330)는 저주파 대역 신호에 대해 J번(J는 1이상의 자연수)의 이산 웨이블릿 변환을 수행하면서 다중 해상도 분

석(MRA)을 수행할 수 있다. 연산장치(330)는 저주파 대역 신호를 다중 해상도 분석한 결과(MRA)를 기반으로 제2 다중 해상도 에너지를 계산할 수 있다. 연산장치(330)는 제1 다중 해상도 에너지 및 제2 다중 해상도 에너지를 기반으로 다중 해상도 에너지 특징(Multi-resolution energy feature)을 생성할 수 있다.

[0120] 연산장치(330)는 다중 해상도 에너지 특징을 분석 모델에 입력할 수 있다. 연산장치(330)는 분석 모델의 출력값을 기반으로 분석 모델의 테스크(Task)을 수행할 수 있다.

[0121] 출력장치(340)는 일정한 정보를 출력하는 장치가 될 수도 있다. 출력장치(340)는 데이터 과정에 필요한 인터페이스, 입력된 데이터, 분석결과 등을 출력할 수도 있다. 출력장치(340)는 디스플레이, 문서를 출력하는 장치, 스피커등과 같이 물리적으로 다양한 형태로 구현될 수도 있다. 출력장치(340)는 저장장치(330)에 저장된 정보를 출력할 수 있다. 출력장치(340)는 연산장치(330)가 연산하는 과정에서 생성된 정보를 출력할 수 있다. 출력장치(340)는 연산장치(330)가 연산한 결과를 출력할 수 있다.

[0122] 인터페이스 장치(350)는 외부로부터 일정한 명령 및 데이터를 입력 받는 장치일 수 있다. 인터페이스 장치(350)는 신호 처리 장치(300)를 제어하기 위한 제어신호를 입력 받을 수 있다. 인터페이스 장치(350)는 신호 처리 장치(300)가 분석한 결과를 출력할 수 있다.

[0123] 인터페이스 장치(350)는 물리적으로 연결된 입력 장치 또는 외부 저장장치로부터 전송한 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법을 수행하는데 필요한 정보를 입력 받을 수 있다.

[0124] 통신장치(360)는 유선 또는 무선 네트워크를 통해 일정한 정보를 수신하고 전송하는 구성을 의미할 수 있다. 통신장치(360)는 Wi-Fi(Wireless Fidelity), Wi-Fi Direct, 블루투스(Bluetooth), UWB(Ultra Wide Band) 또는 NFC(Near Field Communication), USB(Universal Serial Bus), 혹은 HDMI(High Definition Multimedia Interface), LAN(Local Area Network) 등과 같은 네트워크 통신을 수행할 수 있다. 통신장치(360)는 신호 처리 장치(300)를 제어하는데 필요한 제어 신호를 수신할 수 있다. 통신장치(360)는 신호 처리 장치(300)가 분석한 결과를 전송할 수 있다.

[0125] 통신장치(360)는 전송한 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법을 수행하는데 필요한 정보를 수신받을 수 있다. 통신장치(360)는 전송한 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법을 수행하는데 필요한 모델을 수신 받을 수 있다.

[0127] 전송한 병렬 이산 웨이블릿 변환을 활용한 신호 처리 방법은 컴퓨터에서 실행될 수 있는 실행가능한 알고리즘을 포함하는 프로그램(또는 어플리케이션)으로 구현될 수 있다.

[0128] 상기 프로그램은 일시적 또는 비일시적 판독 가능 매체(non-transitory computer readable medium)에 저장되어 제공될 수 있다.

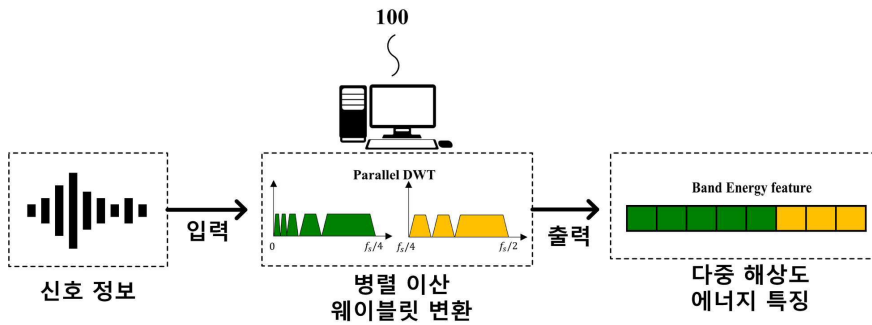
[0129] 상기 일시적 판독 가능 매체는 스태틱 램(Static RAM, SRAM), 다이내믹 램(Dynamic RAM, DRAM), 싱크로너스 디램(Synchronous DRAM, SDRAM), 2배속 SDRAM(Double Data Rate SDRAM, DDR SDRAM), 증강형 SDRAM(Enhanced SDRAM, ESDRAM), 동기화 DRAM(Synclink DRAM, SLDRAM) 및 직접 램버스 램(Direct Rambus RAM, DRRAM) 과 같은 다양한 RAM을 의미한다.

[0130] 상기 비일시적 판독 가능 매체는 레지스터, 캐쉬, 메모리 등과 같이 짧은 순간 동안 데이터를 저장하는 매체가 아니라 반영구적으로 데이터를 저장하며, 기기에 의해 판독(reading)이 가능한 매체를 의미한다. 구체적으로는, 상술한 다양한 어플리케이션 또는 프로그램들은 CD, DVD, 하드 디스크, 블루레이 디스크, USB, 메모리카드, ROM(read-only memory), PROM(programmable read only memory), EPROM(Erasable PROM, EPROM) 또는 EEPROM(Electrically EPROM) 또는 플래시 메모리 등과 같은 비일시적 판독 가능 매체에 저장되어 제공될 수 있다.

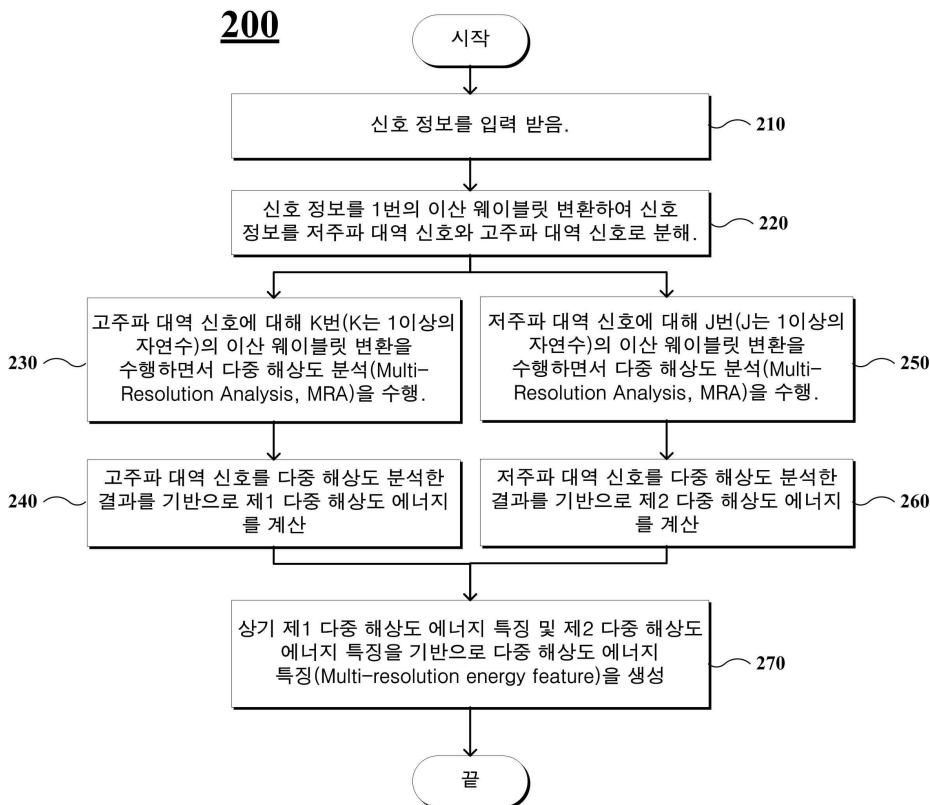
[0131] 본 실시예 및 본 명세서에 첨부된 도면은 전술한 기술에 포함되는 기술적 사상의 일부를 명확하게 나타내고 있는 것에 불과하며, 전술한 기술의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형 예와 구체적인 실시예는 모두 전술한 기술의 권리범위에 포함되는 것이 자명하다고 할 것이다.

도면

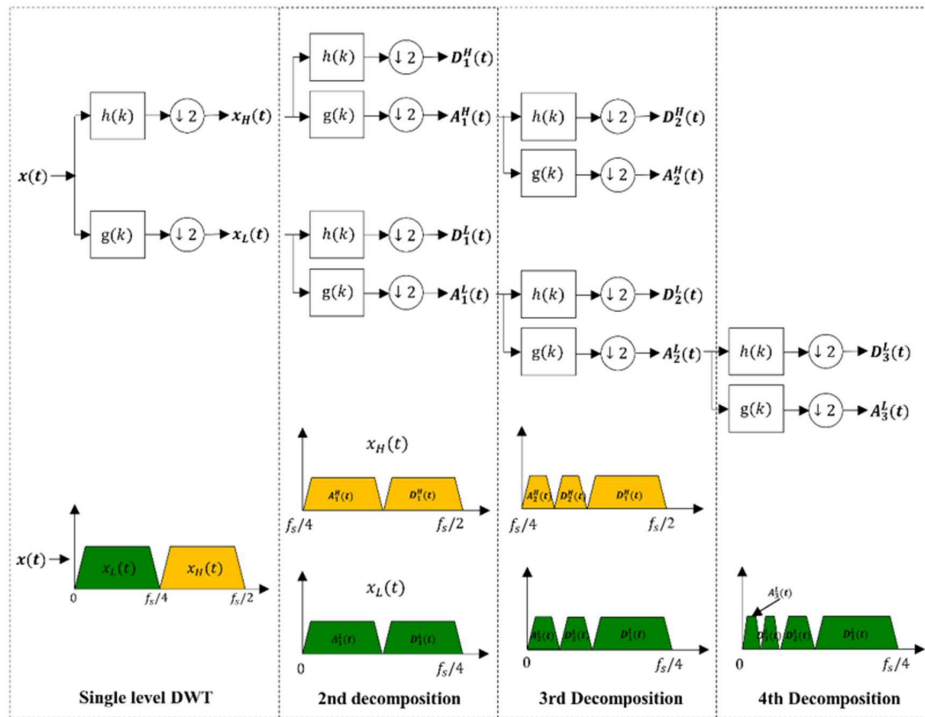
도면1



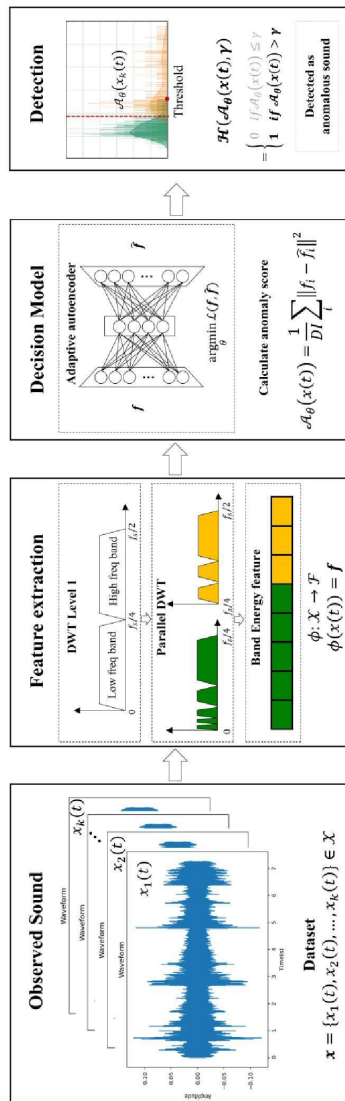
도면2



도면3



도면4



도면5

		fan	pump	slider	valve
Normal	ID00	1,011	1,006	1,068	991
	ID02	1,016	1,005	1,068	708
	ID04	1,033	702	534	1,000
	ID06	1,015	1,036	534	992
Anomalous	ID00	407	143	356	119
	ID02	359	111	217	120
	ID04	348	100	178	120
	ID06	361	102	89	120

도면6

AE Topology	Input layer	Encoder					Latent layer5	Decoder				Output layer
		layer1	layer2	layer3	layer4	layer5		layer6	layer7	layer8	layer9	
Baseline	640	128	128	128	128	8	128	128	128	128	640	
	ref	input dim	4	4	4	2	4	4	4	4	output dim	
	$\times 0.5$	input dim	2	2	2	1	2	2	2	2	output dim	
	$\times 2$	input dim	8	8	8	4	8	8	8	8	output dim	
	Gen1	input dim	8	7	6	5	4	5	6	7	8	output dim
Gen2	input dim	8	-	-	-	4	-	-	-	8	output dim	

- Average dimension of 0 dB SNR data (Fan: 10, Pump: 10, Slider: 11, Valve: 12)
- Average dimension of 6 dB SNR data (Fan: 10, Pump: 9, Slider: 12, Valve: 13)

도면7

Machine Type	Average AUC		Average pAUC		Trainable parameters	
	Baseline	Degradation	Baseline	Degradation	Baseline	PDWT(ref)
0db	fan	0.85 ± 0.02	0.78 ± 0.02	0.71 ± 0.01	0.66 ± 0.02	267, 928
	pump	0.87 ± 0.02	0.73 ± 0.04	0.80 ± 0.02	0.61 ± 0.03	746
	slider	0.94 ± 0.01	0.72 ± 0.04	0.81 ± 0.03	0.58 ± 0.03	267, 928
	valve	0.76 ± 0.02	0.72 ± 0.02	0.54 ± 0.01	0.61 ± 0.02	267, 928
Average	0.86 ± 0.02	0.74 ± 0.03	0.72 ± 0.02	0.61 ± 0.03	267, 928	885
6dB	fan	0.95 ± 0.01	0.93 ± 0.01	0.85 ± 0.01	0.85 ± 0.02	267, 928
	pump	0.91 ± 0.02	0.86 ± 0.03	0.90 ± 0.02	0.72 ± 0.05	745
	slider	0.99 ± 0.00	0.89 ± 0.03	0.93 ± 0.01	0.76 ± 0.05	267, 928
	valve	0.88 ± 0.01	0.92 ± 0.01	0.61 ± 0.01	0.81 ± 0.02	975
Average	0.93 ± 0.01	0.90 ± 0.02	0.69 ± 0.01	0.79 ± 0.04	267, 928	1216
					267, 928	910

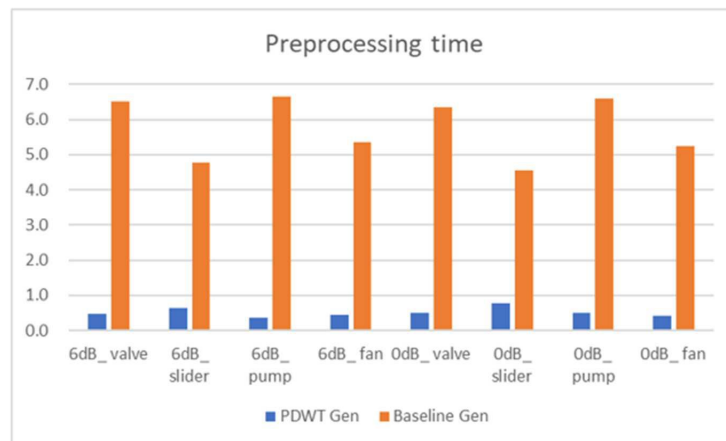
도면8

Machine Type		Information density (AUC)			Information density (pAUC)		
		Baseline ($\times 10^3$)	PDWT ($\times 10^3$)	Ratio	Baseline ($\times 10^3$)	PDWT ($\times 10^3$)	Ratio
0dB	fan	2.04	21.10	10.55	1.70	18.02	10.89
	pump	2.08	19.30	9.46	1.91	16.11	8.64
	slider	2.24	21.38	9.45	1.93	17.33	9.17
	valve	1.82	23.72	12.96	1.28	20.03	15.55
Average		2.04	21.38	10.61	1.71	17.87	11.06
6dB	fan	2.28	25.08	11.08	2.03	22.97	11.75
	pump	2.17	22.77	10.75	2.15	19.18	9.12
	slider	2.35	26.75	11.34	2.22	22.97	10.27
	valve	2.10	30.69	14.60	1.46	27.06	18.74
Average		2.23	26.32	11.94	1.96	23.05	12.47

도면9

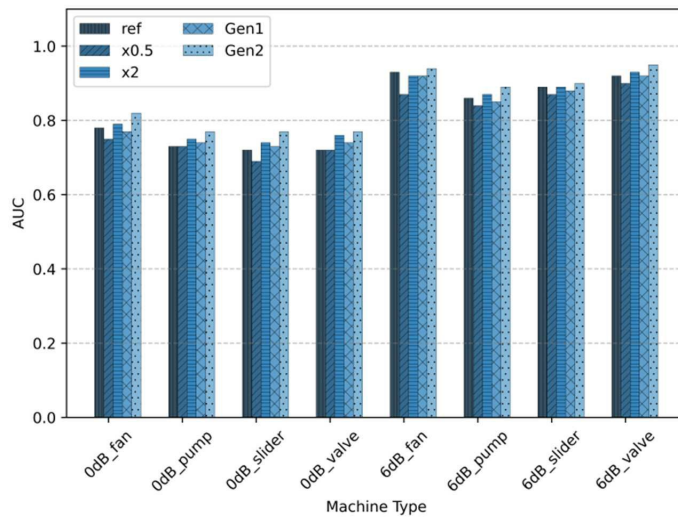


(a)

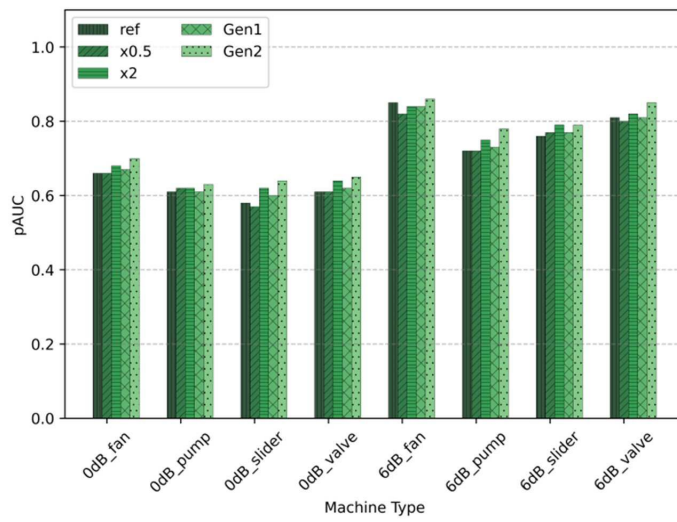


(b)

도면10



(a) Average AUC by autoencoder structures



(b) Average pAUC by autoencoder structures

도면11

