



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년03월28일

(11) 등록번호 10-1607047

(24) 등록일자 2016년03월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 29/46 (2006.01) G01H 17/00 (2006.01)

G01M 13/04 (2006.01) G01N 27/20 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 29/46 (2013.01)

G01H 17/00 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0004267

(22) 출원일자 2015년01월12일

심사청구일자 2015년01월12일

(56) 선행기술조사문헌

KR101482509 B1

KR1019970068718 A

KR1020090047884 A

US20090222228 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

울산대학교 산학협력단

울산광역시 남구 대학로 93

(72) 발명자

김종면

경상남도 양산시 삼호로 74, 101동 303호 (삼호동, 웅상신도시푸르지오아파트)

강명수

울산광역시 남구 옥현로 92-13, 105동 403호 (무거동, 옥현주공1단지아파트)

김재영

부산광역시 금정구 금사로51번길 28-2 (서동)

(74) 대리인

김종선, 이형석

전체 청구항 수 : 총 14 항

심사관 : 최중운

(54) 발명의 명칭 결합 검출을 위한 신호 분석 방법 및 장치

(57) 요약

신호 분석 장치가 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 분석 장치는 모니터링 대상 물체에서 방출되는 입력 신호로부터 서로 다른 주파수 대역의 신호를 추출하여 복수의 부대역 신호를 생성하는 생성부; 상기 부대역 신호 각각에 대한 포락 신호의 파워 스펙트럼을 이용하여, 상기 부대역 신호 각각에 대한 결합 평가값을 산출하는 산출부; 및 상기 결합 평가값에 기초하여 상기 물체의 결합 검출에 있어 최적의 주파수 대역을 선택하는 선택부를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01M 13/045 (2013.01)

G01N 27/20 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2012R1A1A2043644

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기본연구지원사업

연구과제명 회전 기기의 다중 결함 검출 및 분류를 위한 고 신뢰성 자가 진단 및 학습 시스템 개발

기 여 율 70/100

주관기관 울산대학교 산학협력단

연구기간 2014.09.01 ~ 2015.08.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 R0001220

부처명 중소기업청

연구관리전문기관 한국산업기술진흥원

연구사업명 동남광역경제권선도사업

연구과제명 SAN 인프라를 활용한 WMSN기반 선박안전 및 설비상태 감지 시스템 개발

기 여 율 30/100

주관기관 울산대학교 산학협력단

연구기간 2014.05.01 ~ 2015.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

모니터링 대상 물체에서 방출되는 입력 신호로부터 서로 다른 주파수 대역의 신호를 추출하여 복수의 부대역 신호를 생성하는 생성부;

상기 부대역 신호 각각에 대한 포락 신호의 파워 스펙트럼을 이용하여, 상기 부대역 신호 각각에 대한 결함 평가값을 산출하는 산출부; 및

상기 결함 평가값에 기초하여 상기 물체의 결함 검출에 있어 최적의 주파수 대역을 선택하는 선택부를 포함하고,

상기 산출부는 상기 각각의 부대역 신호에 대한 포락 신호의 파워 스펙트럼을 생성하는 파워 스펙트럼 생성부; 상기 각각의 파워 스펙트럼으로부터 결함 주파수 성분 및 상기 결함 주파수 성분을 제외한 잔여 성분을 획득하는 주파수 성분 획득부; 및 상기 결함 주파수에 대한 에너지의 합과, 상기 잔여 성분에 대한 에너지의 합에 기초하여 상기 결함 평가값을 산출하는 결함 평가값 산출부를 포함하는 것을 특징으로 하는 신호 분석 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 파워 스펙트럼 생성부는

상기 각각의 부대역 신호에 대해 힐버트 변환을 수행하여 상기 포락 신호를 생성하고, 상기 각각의 포락 신호에 대해 고속 푸리에 변환(FFT)을 수행하여 상기 파워 스펙트럼을 생성하는 것을 특징으로 하는 신호 분석 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 주파수 성분 획득부는

가우시안 혼합 모델 기반의 윈도우를 생성하고, 상기 각각의 파워 스펙트럼에 대해, 상기 생성된 윈도우를 적용하여 상기 결함 주파수 성분을 획득하는 것을 특징으로 하는 신호 분석 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 결함 평가값 산출부는

상기 결함 주파수 성분에 대한 에너지의 합과, 상기 잔여 성분에 대한 에너지의 합의 비율을 산출하고, 상기 산출된 비율에 기초하여 상기 결함 평가값을 산출하는 것을 특징으로 하는 신호 분석 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 결함 평가값은

하기 수학적 식 1에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 신호 분석 장치.

[수학적 식 1]

$$RDR = 10 \cdot \log \left[\sum_{n \in P} \frac{\sum_{j=1}^{N_{wfreq}} S_{n,j}^2}{\sum_{k=1}^{N_{rfreq}} S_{n,k}^2} + 10 \right]$$

여기서, 상기 RDR은 상기 결함 평가값을 나타내며, P 는 상기 입력 신호에 대한 포락 파워 스펙트럼(envelope power spectrum)에 가우시안 혼합 모델 기반 윈도우를 씌우는 하모닉 성분의 위치를 나타내는 인덱스(index)의 집합을 나타내고, $S_{n,j}$ 는 n 번째 하모닉 성분 주위로 가우시안 혼합 모델 기반 윈도우를 씌운 후 결과로 발생하는 총 N_{wfreq} 개의 주파수 성분들 가운데 j 번째 주파수 성분의 크기를 나타내고, $S_{n,k}$ 는 $P_n - 1/2 P_{n-1}$ 와 $P_n + 1/2 P_{n+1}$ 범위에서 포락 파워 스펙트럼과 결함 주파수 성분에 해당하는 $S_{n,j}$ 의 차감 연산 후 발생하는 잔여 주파수 성분들로 총 N_{rfreq} 개의 주파수 성분들 가운데 k 번째 주파수 성분의 크기를 나타내고, P_n 은 결함 주파수의 n 번째 하모닉 성분에 대한 주파수값을 의미한다.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 서로 다른 주파수 대역으로 구성되는 대역 집합을 형성하는 집합 형성부;

상기 대역 집합을 구성하는 각각의 주파수 대역의 부대역 신호에 대한 상기 결함 평가값들의 표준편차값을 산출하는 표준편차 산출부; 및

상기 표준편차값을 미리 설정한 임계치와 비교하여 상기 임계치 보다 클 경우, 상기 대역 집합을 구성하는 상기 주파수 대역을 적어도 하나 이상 변경하여 상기 부대역 신호를 갱신하고, 상기 갱신된 부대역 신호에 대한 상기 결함 평가값들의 표준편차값을 상기 임계치와 비교하는 과정을 반복하는 비교부를 더 포함하고,

상기 선택부는

상기 표준편차값이 상기 임계치 이하인 경우에 해당하는 대역 집합 중에서 가장 높은 결함 평가값을 갖는 주파수 대역을 상기 최적의 주파수 대역으로 선택하는 것을 특징으로 하는 신호 분석 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 생성부는

상기 입력 신호 중 미리 설정된 범위의 주파수 대역 신호만을 통과 시키는 적어도 하나의 밴드패스필터를 포함하고, 상기 밴드패스필터를 통과한 주파수 대역 신호를 추출하여 상기 부대역 신호를 생성하는 것을 특징으로 하는 신호 분석 장치.

청구항 9

모니터링 대상 물체에서 방출되는 입력 신호로부터 서로 다른 주파수 대역의 신호를 추출하여 복수의 부대역 신호를 생성하는 단계;

상기 부대역 신호 각각에 대한 포락 신호의 파워 스펙트럼을 이용하여, 상기 부대역 신호 각각에 대한 결함 평가값을 산출하는 단계; 및

상기 결함 평가값에 기초하여 상기 물체의 결함 검출에 있어 최적의 주파수 대역을 선택하는 단계를 포함하고, 상기 각각의 부대역 신호에 대한 결함 평가값을 산출하는 단계는 상기 각각의 부대역 신호에 대한 포락 신호의 파워 스펙트럼을 생성하는 단계; 상기 각각의 파워 스펙트럼으로부터 결함 주파수 성분 및 상기 결함 주파수 성분을 제외한 잔여 성분을 획득하는 단계; 및 상기 결함 주파수에 대한 에너지의 합과, 상기 잔여 성분에 대한 에너지의 합에 기초하여 상기 결함 평가값을 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 신호 분석 방법.

청구항 10

삭제

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 파워 스펙트럼 생성하는 단계는

상기 각각의 부대역 신호에 대해 힐버트 변환을 수행하여 상기 포락 신호를 생성하고, 상기 각각의 포락 신호에 대해 고속 푸리에 변환(FFT)을 수행하여 상기 파워 스펙트럼을 생성하는 것을 특징으로 하는 신호 분석 방법.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 결함 주파수 성분 및 잔여 성분을 획득하는 단계는

가우시안 혼합 모델 기반의 윈도우를 생성하고, 상기 각각의 파워 스펙트럼에 대해, 상기 생성된 윈도우를 적용하여 상기 결함 주파수 성분을 획득하는 것을 특징으로 하는 신호 분석 방법.

청구항 13

제9항에 있어서,

상기 결함 평가값을 산출하는 단계는

상기 결함 주파수 성분에 대한 에너지의 합과, 상기 잔여 성분에 대한 에너지의 합의 비율을 산출하고, 상기 산출된 비율에 기초하여 상기 결함 평가값을 산출하는 것을 특징으로 하는 신호 분석 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 결함 평가값은

하기 수학적 식 1에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 신호 분석 방법.

[수학적 식 1]

$$RDR = 10 \cdot \log \left[\sum_{n \in P} \frac{\sum_{j=1}^{N_{wfreq}} S_{n,j}^2}{\sum_{k=1}^{N_{rfreq}} S_{n,k}^2} + 10 \right]$$

여기서, 상기 RDR은 상기 결함 평가값을 나타내며, P 는 상기 입력 신호에 대한 포락 파워 스펙트럼(envelope power spectrum)에 가우시안 혼합 모델 기반 윈도우를 씌우는 하모닉 성분의 위치를 나타내는 인덱스(index)의 집합을 나타내고, $S_{n,j}$ 는 n 번째 하모닉 성분 주위로 가우시안 혼합 모델 기반 윈도우를 씌운 후 결과로 발생하는

총 N_{wfreq} 개의 주파수 성분들 가운데 j 번째 주파수 성분의 크기를 나타내고, $S_{n,k}$ 는 $P_n - 1/2 P_{n-1}$ 와 $P_n + 1/2 P_{n+1}$ 범위에서 포락 파워 스펙트럼과 결합 주파수 성분에 해당하는 $S_{n,j}$ 의 차감 연산 후 발생하는 잔여 주파수 성분들로 총 N_{rfreq} 개의 주파수 성분들 가운데 k 번째 주파수 성분의 크기를 나타내고, P_n 은 결합 주파수의 n 번째 하모닉 성분에 대한 주파수값을 의미한다.

청구항 15

제9항에 있어서,

상기 서로 다른 주파수 대역으로 구성되는 대역 집합을 형성하는 단계;

상기 대역 집합을 구성하는 각각의 주파수 대역의 부대역 신호에 대한 상기 결합 평가값들의 표준편차값을 산출하는 단계; 및

상기 표준편차값을 미리 설정한 임계치와 비교하여 상기 임계치 보다 클 경우, 상기 대역 집합을 구성하는 상기 주파수 대역을 적어도 하나 이상 변경하여 상기 부대역 신호를 갱신하고, 상기 갱신된 부대역 신호에 대한 상기 결합 평가값들의 표준편차값을 상기 임계치와 비교하는 과정을 반복하는 단계를 더 포함하고,

상기 최적의 주파수 대역을 선택하는 단계는

상기 표준편차값이 상기 임계치 이하인 경우에 해당하는 대역 집합 중에서 가장 높은 결합 평가값을 갖는 주파수 대역을 상기 최적의 주파수 대역으로 선택하는 것을 특징으로 하는 신호 분석 방법.

청구항 16

제9항에 있어서,

상기 부대역 신호를 적어도 하나 생성하는 단계는

상기 입력 신호 중 미리 설정된 범위의 주파수 대역 신호만을 통과 시키는 적어도 하나의 밴드패스필터를 포함하고, 상기 밴드패스필터를 통과한 주파수 대역 신호를 추출하여 상기 부대역 신호를 생성하는 것을 특징으로 하는 신호 분석 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 일 실시예는 신호 분석 장치에 관한 것으로, 입력 신호에 포함된 결합 주파수 성분을 포락 분석을 통하여 분석하고, 유전 알고리즘을 이용하여 최적의 주파수 대역을 선정하여 최적의 상태로 물체의 상태를 모니터링 할 수 있는 방법과 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 베어링의 결합 검출에 있어, 실제 산업현장에서는 소음과 진동의 특성을 이용하여 비파괴검사에 이용함으로써 베어링부의 수명연장 등 유지 보전에 큰 도움을 주고 있다.

[0003] 베어링 고장원인으로는 불충분한 윤활, 부적절한 윤활재의 사용, 베어링의 잘못된 설치, 축계의 과도한 변형 등이 있다. 과거에는 숙련된 기술자에 의하여 이러한 문제들을 진단하고 고장 여부를 판단하였으나, 대부분 진단 시간이 길고, 주관적이며, 경우에 따라 기기 시스템의 작동을 중단해야 하는 단점을 지니고 있다. 최근에는 기기 시스템의 작동을 유지하면서, 베어링의 고장을 진단할 수 있는 시스템이 요구됨에 따라 지속적으로 베어링 작동 상태를 모니터링하여 고장 전에 미리 이상을 발견할 수 있는 형태의 기술로 발전되고 있다.

[0004] 관련 선행기술로는 대한민국 공개특허공보 제10-2011-0046649호(발명의 명칭: 백업 롤 베어링의 손상 예측 장치

및 그 방법, 공개일자: 2011. 05. 06)가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 일 실시예는 물체로부터 발생하는 신호를 포락 분석하여 물체의 상태를 효율적으로 모니터링할 수 있는 최적의 주파수 대역을 선택할 수 있는 신호 분석 방법 및 장치를 제공한다.

[0006] 본 발명의 일 실시예는 입력 신호의 주파수 분석에 있어 유전 알고리즘을 적용하여 최적의 주파수 대역을 선택하는 방법 및 장치를 제공한다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 분석 장치는 모니터링 대상 물체에서 방출되는 입력 신호로부터 서로 다른 주파수 대역의 신호를 추출하여 복수의 부대역 신호를 생성하는 생성부; 상기 부대역 신호 각각에 대한 포락 신호의 파워 스펙트럼을 이용하여, 상기 부대역 신호 각각에 대한 결함 평가값을 산출하는 산출부; 및 상기 결함 평가값에 기초하여 상기 물체의 결함 검출에 있어 최적의 주파수 대역을 선택하는 선택부를 포함한다.

[0008] 상기 산출부는 상기 각각의 부대역 신호에 대한 포락 신호의 파워 스펙트럼을 생성하는 파워 스펙트럼 생성부; 상기 각각의 파워 스펙트럼으로부터 결함 주파수 성분 및 상기 결함 주파수 성분을 제외한 잔여 성분을 획득하는 주파수 성분 획득부; 및 상기 결함 주파수에 대한 에너지의 합과, 상기 잔여 성분에 대한 에너지의 합에 기초하여 상기 결함 평가값을 산출하는 결함 평가값 산출부를 포함할 수 있다.

[0009] 상기 파워 스펙트럼 생성부는 상기 각각의 부대역 신호에 대해 힐버트 변환을 수행하여 상기 포락 신호를 생성하고, 상기 각각의 포락 신호에 대해 고속 푸리에 변환(FFT)을 수행하여 상기 파워 스펙트럼을 생성할 수 있다.

[0010] 상기 주파수 성분 획득부는 가우시안 혼합 모델 기반의 윈도우를 생성하고, 상기 각각의 파워 스펙트럼에 대해, 상기 생성된 윈도우를 적용하여 상기 결함 주파수 성분을 획득할 수 있다.

[0011] 상기 결함 평가값 산출부는 상기 결함 주파수 성분에 대한 에너지의 합과, 상기 잔여 성분에 대한 에너지의 합의 비율을 산출하고, 상기 산출된 비율에 기초하여 상기 결함 평가값을 산출할 수 있다.

[0012] 상기 결함 평가값은 하기 수학식 1에 의해 산출될 수 있다.

[0013] [수학식 1]

$$RDR = 10 \cdot \log \left[\frac{\sum_{j=1}^{N_{wfreq}} S_{n,j}^2}{\sum_{k=1}^{N_{rfreq}} S_{n,k}^2} + 10 \right]$$

[0015] 여기서, 상기 RDR은 상기 결함 평가값을 나타내며, P 는 상기 입력 신호에 대한 포락 파워 스펙트럼(envelope power spectrum)에 가우시안 혼합 모델 기반 윈도우를 씌우는 하모닉 성분의 위치를 나타내는 인덱스(index)의 집합을 나타내고, $S_{n,j}$ 는 n 번째 하모닉 성분 주위로 가우시안 혼합 모델 기반 윈도우를 씌운 후 결과로 발생하는 총 N_{wfreq} 개의 주파수 성분들 가운데 j 번째 주파수 성분의 크기를 나타내고, $S_{n,k}$ 는 $P_n - 1/2 P_{n+1}$ 및 $P_n + 1/2 P_{n+1}$ 범위에서 포락 파워 스펙트럼과 결함 주파수 성분에 해당하는 $S_{n,j}$ 의 차감 연산 후 발생하는 잔여 주파수 성분들로 총 N_{rfreq} 개의 주파수 성분들 가운데 k 번째 주파수 성분의 크기를 나타내고, P_n 은 결함 주파수의 n 번째 하모닉 성분에 대한 주파수값을 의미한다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 분석 장치는 상기 서로 다른 주파수 대역으로 구성되는 대역 집합을 형성하는 집합 형성부; 상기 대역 집합을 구성하는 각각의 주파수 대역의 부대역 신호에 대한 상기 결함 평가값들의 표준편차값을 산출하는 표준편차 산출부; 및 상기 표준편차값을 미리 설정한 임계치와 비교하여 상기 임계치 보다 클 경우, 상기 대역 집합을 구성하는 상기 주파수 대역을 적어도 하나 이상 변경하여 상기 부대역 신호를 갱신하고, 상기 갱신된 부대역 신호에 대한 상기 결함 평가값들의 표준편차값을 상기 임계치와 비교하는 과정을 반복하는 비교부를 더 포함하고, 상기 선택부는 상기 표준편차값이 상기 임계치 이하인 경우에 해당하는 대역 집

합 중에서 가장 높은 결합 평가값을 갖는 주파수 대역을 상기 최적의 주파수 대역으로 선택하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0017] 상기 생성부는 상기 입력 신호 중 미리 설정된 범위의 주파수 대역 신호만을 통과 시키는 적어도 하나의 밴드패스필터를 포함하고, 상기 밴드패스필터를 통과한 주파수 대역 신호를 추출하여 상기 부대역 신호를 생성하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0018] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 분석 방법은 모니터링 대상 물체에서 방출되는 입력 신호로부터 서로 다른 주파수 대역의 신호를 추출하여 복수의 부대역 신호를 생성하는 단계; 상기 부대역 신호 각각에 대한 포락 신호의 파워 스펙트럼을 이용하여, 상기 부대역 신호 각각에 대한 결합 평가값을 산출하는 단계; 및 상기 결합 평가값에 기초하여 상기 물체의 결합 검출에 있어 최적의 주파수 대역을 선택하는 단계를 포함한다.

[0019] 상기 각각의 부대역 신호에 대한 결합 평가값을 산출하는 단계는 상기 각각의 부대역 신호에 대한 포락 신호의 파워 스펙트럼을 생성하는 단계; 상기 각각의 파워 스펙트럼으로부터 결합 주파수 성분 및 상기 결합 주파수 성분을 제외한 잔여 성분을 획득하는 단계; 및 상기 결합 주파수에 대한 에너지의 합과, 상기 잔여 성분에 대한 에너지의 합에 기초하여 상기 결합 평가값을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0020] 상기 파워 스펙트럼을 생성하는 단계는 상기 각각의 부대역 신호에 대해 힐버트 변환을 수행하여 상기 포락 신호를 생성하고, 상기 각각의 포락 신호에 대해 고속 푸리에 변환(FFT)을 수행하여 상기 파워 스펙트럼을 생성할 수 있다.

[0021] 상기 결합 주파수 성분 및 잔여 성분을 획득하는 단계는 가우시안 혼합 모델 기반의 윈도우를 생성하고, 상기 각각의 파워 스펙트럼에 대해, 상기 생성된 윈도우를 적용하여 상기 결합 주파수 성분을 획득할 수 있다.

[0022] 상기 결합 평가값을 산출하는 단계는 상기 결합 주파수 성분에 대한 에너지의 합과, 상기 잔여 성분에 대한 에너지의 합의 비율을 산출하고, 상기 산출된 비율에 기초하여 상기 결합 평가값을 산출할 수 있다.

[0023] 상기 결합 평가값은 하기 수학적 식 1에 의해 산출될 수 있다.

[0024] [수학적 식 1]

$$RDR = 10 \cdot \log \left[\frac{\sum_{j=1}^{N_{wfreq}} S_{n,j}^2}{\sum_{k=1}^{N_{rfreq}} S_{n,k}^2} + 10 \right]$$

[0025] 여기서, 상기 RDR은 상기 결합 평가값을 나타내며, P_n 는 상기 입력 신호에 대한 포락 파워 스펙트럼(envelope power spectrum)에 가우시안 혼합 모델 기반 윈도우를 씌우는 하모닉 성분의 위치를 나타내는 인덱스(index)의 집합을 나타내고, $S_{n,j}$ 는 n 번째 하모닉 성분 주위로 가우시안 혼합 모델 기반 윈도우를 씌운 후 결과로 발생하는 총 N_{wfreq} 개의 주파수 성분들 가운데 j 번째 주파수 성분의 크기를 나타내고, $S_{n,k}$ 는 $P_n - 1/2 P_{n-1}$ 와 $P_n + 1/2 P_{n+1}$ 범위에서 포락 파워 스펙트럼과 결합 주파수 성분에 해당하는 $S_{n,j}$ 의 차감 연산 후 발생하는 잔여 주파수 성분들로 총 N_{rfreq} 개의 주파수 성분들 가운데 k 번째 주파수 성분의 크기를 나타내고, P_n 은 결합 주파수의 n 번째 하모닉 성분에 대한 주파수값을 의미한다.

[0027] 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 분석 방법은 상기 서로 다른 주파수 대역으로 구성되는 대역 집합을 형성하는 단계; 상기 대역 집합을 구성하는 각각의 주파수 대역의 부대역 신호에 대한 상기 결합 평가값들의 표준편차값을 산출하는 단계; 및 상기 표준편차값을 미리 설정한 임계치와 비교하여 상기 임계치 보다 클 경우, 상기 대역 집합을 구성하는 상기 주파수 대역을 적어도 하나 이상 변경하여 상기 부대역 신호를 갱신하고, 상기 갱신된 부대역 신호에 대한 상기 결합 평가값들의 표준편차값을 상기 임계치와 비교하는 과정을 반복하는 단계를 더 포함하고, 상기 최적의 주파수 대역을 선택하는 단계는 상기 표준편차값이 상기 임계치 이하인 경우에 해당하는 대역 집합 중에서 가장 높은 결합 평가값을 갖는 주파수 대역을 상기 최적의 주파수 대역으로 선택하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0028] 상기 부대역 신호를 적어도 하나 생성하는 단계는 상기 입력 신호 중 미리 설정된 범위의 주파수 대역 신호만을 통과 시키는 적어도 하나의 밴드패스필터를 포함하고, 상기 밴드패스필터를 통과한 주파수 대역 신호를 추출하

여 상기 부대역 신호를 생성하는 것을 특징으로 할 수 있다.

발명의 효과

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 기계 등 물체로부터 발생하는 신호를 분석하여 물체의 상태를 효율적으로 검출할 수 있는 최적의 주파수 대역을 선택할 수 있다.

[0030] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 기계 등 물체로부터 발생하는 신호를 유전 알고리즘을 적용하여 분석하고 주파수 대역을 선택함으로써, 기계 등 물체에 대한 결함 여부를 신속하고 정확하게 실시간으로 모니터링 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 분석 장치를 설명하기 위하여 도시한 블록도이다.

도 2 내지 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 부대역 신호의 생성 및 각각의 부대역 신호의 파워 스펙트럼을 도시한 도면이다.

도 6은 도 1의 산출부의 상세 구성을 도시한 블록도이다.

도 7 내지 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따라 결함 주파수 성분 및 잔여 성분을 산출하는 과정을 설명하기 위하여 도시한 도면이다.

도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신호 분석 장치를 설명하기 위하여 도시한 도면이다.

도 11은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 신호 분석 장치를 설명하기 위하여 도시한 블록도이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 분석 방법을 설명하기 위하여 도시한 흐름도이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따라 결함 평가값을 산출하는 방법을 설명하기 위하여 도시한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.

[0033] 제1, 제2, A, B 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수개의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수개의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.

[0034] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.

[0035] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수개의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0036] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

- [0037] 이하, 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0038] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 분석 장치를 설명하기 위하여 도시한 블록도이다.
- [0039] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 분석 장치(100)는 생성부(110), 산출부(120) 및 선택부(130)를 포함한다.
- [0040] 생성부(110)는 모니터링 대상 물체에서 방출되는 입력 신호로부터 서로 다른 주파수 대역의 신호를 추출하여 복수의 부대역 신호를 생성한다.
- [0041] 여기서, 상기 입력 신호는 베어링을 비롯한 회전체 등의 물체에서 방출되는 진동, 전류, 전압, 음향 방출 등의 신호를 포함할 수 있다.
- [0042] 그러나, 이에 한정되지 않고, 상기 입력 신호는 특정 주파수를 검출함으로써 대상의 결함 여부를 판단할 수 있는 방식이 적용 가능한 경우라면, 회전체가 아닌 그 밖의 물체로부터 방출되는 진동, 전류, 전압, 음향 방출 등의 신호를 포함할 수도 있다.
- [0043] 상기 미리 설정된 크기의 주파수 대역의 신호를 추출한다고 함은 상기 입력 신호로부터 일정 크기의 대역만큼의 신호를 추출하는 것이다. 이를 위해, 상기 생성부(110)는 상기 입력 신호 중 미리 설정된 범위의 주파수 대역 신호만을 통과 시키는 적어도 하나의 밴드패스필터(미도시)를 포함할 수 있다. 상기 생성부(110)는 상기 밴드패스필터를 통과한 주파수 대역 신호를 추출하여 상기 부대역 신호를 생성할 수 있다.
- [0044] 산출부(120)는 상기 부대역 신호 각각에 대한 포락 신호의 파워 스펙트럼을 이용하여, 각각의 부대역 신호 각각에 대한 결함 평가값을 산출한다.
- [0045] 이를 위해, 상기 산출부(120)는 도 6에 도시된 바와 같이 파워 스펙트럼 생성부(122), 주파수 성분 획득부(124) 및 결함 평가값 산출부(126)를 포함할 수 있다. 참고로, 도 6은 도 1의 산출부(120)의 상세 구성을 도시한 블록도이다.
- [0046] 파워 스펙트럼 생성부(122)는 각 부대역 신호에 대한 포락 신호의 파워 스펙트럼을 생성할 수 있다.
- [0047] 즉, 파워 스펙트럼 생성부(122)는 각 부대역 신호에 대해 힐버트 변환을 수행하여 포락 신호를 생성하고, 생성된 각각의 포락 신호에 대해 고속 푸리에 변환(FFT)을 수행하여 상기 파워 스펙트럼을 생성할 수 있다.
- [0048] 참고로, 신호를 힐버트 변환을 하고 포락 신호를 생성한 후, 포락 신호의 파워 스펙트럼을 생성하는 일련의 과정을 포락 분석이라 한다. 포락 분석은 진폭 변조된 신호를 분석할 수 있는 훌륭한 수단이기때, 베어링의(베어링을 포함한 기어 및 회전 기기의) 결함을 조사하는데 일반적으로 사용되는 분석 방법이다. 본 발명의 일 실시예에서도 신호의 주파수를 분석하기 위하여 포락 분석을 사용할 수 있다.
- [0049] 주파수 성분 획득부(124)는 상기 생성된 각 파워 스펙트럼으로부터 결함 주파수 성분 및 잔여 성분(결함 주파수 성분을 제외한 나머지 주파수 성분)을 획득할 수 있다.
- [0050] 결함 주파수란 베어링에 결함이 발생할 경우 주파수 영역에서 나타날 수 있는 특정 주파수 성분을 뜻한다. 구름요소 베어링 결함의 종류로는 내륜과 외륜, 롤러, 케이지 결함이 있고, 각 결함 주파수는 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$BPFO = N \frac{f_r}{2} \left[1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \theta \right]$$

[0051] 외륜 결함 주파수 :

$$BPFI = N \frac{f_r}{2} \left[1 + \frac{Bd}{Pd} \cos \theta \right]$$

[0052] 내륜 결함 주파수 :

$$BPF = \frac{Pd}{2Bd} \left[1 - \left(\frac{Bd}{Pd} \cos \theta \right)^2 \right]$$

[0053] 롤러 결함 주파수 :

$$FTF = \frac{f_r}{2} \left[1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \theta \right]$$

[0054] 케이지 결합 주파수 :

[0055] 여기서 N 은 구름요소의 개수, f_r 은 회전체의 회전 주파수, Bd 는 구름요소의 직경, Pd 는 피치 직경, θ 는 결합의 접촉각을 나타낸다. 결합 종류의 조합에 따라 두 가지 이상의 결합 주파수 성분이 동시에 나타날 수도 있다.

[0056] 상기 결합 주파수 성분을 획득하는 구성에 대해서 보다 구체적으로 설명하면, 주파수 성분 획득부(124)는 가우시안 혼합 모델 기반의 윈도우를 각 결합 주파수 하모닉 성분 주위에 생성하고, 생성된 윈도우를 각 파워 스펙트럼에 적용함으로써 상기 결합 주파수 성분을 획득할 수 있다. 상기 가우시안 혼합 모델 기반의 윈도우를 각 파워 스펙트럼에 적용하여 결합 주파수 성분을 획득하는 과정에 대해서는 도 7 및 도 8을 참조하여 후술한다.

[0057] 잔여 성분은 상기 각각의 파워 스펙트럼에서 결합 주파수 성분을 제외한 성분으로서 상기 파워스펙트럼에서 윈도우를 씌움으로써 취득한 성분을 제외한 나머지 성분을 잔여 성분으로 간주할 수 있다.

[0058] 결합 평가값 산출부(126)는 결합 주파수 성분에 대한 에너지의 합과, 잔여 성분에 대한 에너지의 합에 기초하여 결합 평가값을 산출할 수 있다.

[0059] 구체적으로, 결합 평가값 산출부(126)는 하기 수학적 식 1에서와 같이, 결합 주파수 성분에 대한 에너지의 합과, 잔여 성분에 대한 에너지의 합의 비율을 산출하고, 산출된 비율에 기초하여 결합 평가값을 산출할 수 있다.

[0060] [수학적 식 1]

$$RDR = 10 \cdot \log \left[\frac{\sum_{n \in P} \sum_{j=1}^{N_{wfreq}} S_{n,j}^2}{\sum_{k=1}^{N_{rfreq}} S_{n,k}^2} + 10 \right]$$

[0061]

[0062] 여기서, 상기 RDR은 상기 결합 평가값을 나타내며, P 는 베어링 결합의 평가를 위해 포락 파워 스펙트럼(envelope power spectrum)에 가우시안 혼합 모델 기반 윈도우를 씌우는 위치를 나타내는 인덱스(index)의 집합으로 $P=\{1, 2, 3\}$ 일 경우 결합의 유무 및 그 정도를 평가하기 위해 결합 주파수의 첫 번째, 두 번째, 세 번째 하모닉 성분 주위로 가우시안 혼합 모델 기반 윈도우를 씌운다는 것을 의미하며, $P=\{1, 3\}$ 일 경우는 결합 주파수의 첫 번째, 세 번째 하모닉 성분 주위로 가우시안 혼합 모델 기반 윈도우를 씌운다는 것을 의미한다. $S_{n,j}$ 는 집합 P 에 의해 정의되는 n 번째 하모닉 성분 주위로 가우시안 혼합 모델 기반 윈도우를 씌운 후 결과로 발생하는 총 N_{wfreq} 개의 주파수 성분들 가운데 j 번째 주파수 성분의 크기를 나타내고, $S_{n,k}$ 는 $P_n - 1/2 P_{\text{좌}}$ 및 $P_n + 1/2 P_1$ 범위에서 포락 파워 스펙트럼과 결합 주파수 성분에 해당하는 $S_{n,j}$ 의 차감 연산 후 발생하는 잔여 주파수 성분들로 총 N_{rfreq} 개의 주파수 성분들 가운데 k 번째 주파수 성분의 크기를 나타낸다. 여기서 P_n 은 결합 주파수의 n 번째 하모닉 성분에 대한 주파수값을 의미하며, 본 발명에서 n 의 값은 [수학적 식 1]에서와 같이 집합 P 에 의해 정의된다.

[0063] 참고로, 상기 결합 평가값은 결합이 발생하였는지 여부를 판단하기 위한 지표를 의미한다. 본 발명의 일 실시예에서는 포락 신호의 파워 스펙트럼을 이용한 RDR(Residual component-to-Defect component Ratio)을 결합 평가값으로서 사용할 수 있다.

[0064] 선택부(130)는 상기 결합 평가값에 기초하여 물체의 결합 검출에 있어 최적의 주파수 대역을 선택한다.

[0065] 즉, 선택부(130)는 최대 결합 평가값에 대응하는 부대역 신호의 주파수 대역을 파악하여 이를 물체의 결합 검출을 위한 최적의 주파수 대역으로 선택할 수 있다.

[0066] 최적의 주파수 대역은 실시간 모니터링의 기초가 될 수 있으며, 이에 대한 자세한 설명은 뒤에서 자세히 살펴보기로 한다.

[0067] 도 2 내지 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 부대역 신호의 생성 및 각각의 부대역 신호의 파워 스펙트럼을 도시한 도면이다.

[0068] 도 2는 상기 입력신호에 대해 밴드패스필터에 의해 결합 주파수 성분이 포함되지 않은 주파수 대역을 선택하여 부대역 신호를 생성하는 과정을 도시한 도면이다.

- [0069] 도 2에서 붉은 색의 사각형은 밴드패스필터에 의하여 추출되는 대역을 도시하고 있는데, 도 2는 결합 주파수 성분이 포함되지 않은 주파수 대역을 선택하여 추출하는 과정을 도시하고 있다.
- [0070] 회전체 등 물체에서 방출되는 신호에 있어, 결합 주파수 성분이 포함되어 있는 주파수 대역은 고정되어 있지 않으며, 결합 종류에 따라 그 대역은 각기 다르게 나타날 수 있다.
- [0071] 따라서, 상기 입력 신호의 일부 대역을 추출하여 생성된 상기 부대역 신호는 상기 결합 주파수 성분을 포함할 수도 있고 포함하고 있지 않을 수도 있는데, 상기 결합 주파수 성분의 포함 여부는 해당 부대역 신호의 포락 분석을 실시하기 전까지는 알 수 없다.
- [0072] 도 3은 도 2에 의하여 생성된 부대역 신호의 파워 스펙트럼을 도시한 도면이다. 도 3에서 도면 부호 310은 상기 입력 신호에 결합 주파수 성분이 포함된 경우 스펙트럼이 나타나는 주파수를 나타내고 있다.
- [0073] 본 발명의 일 실시예에서는 상기 310에 표시된 각 주파수에서 오차범위 2.5%이내에서 스펙트럼이 발견된다면 이는 결합 주파수 성분에 의한 스펙트럼으로 간주할 수 있다.
- [0074] 도 3을 참조하면, 상기 도 2에서 생성된 부대역 신호는 결합 주파수 성분을 포함하고 있지 않기에 결합 주파수 영역에서 결합 주파수 성분이 발견되지 않는다.
- [0075] 도 4는 상기 입력신호에 대해 밴드패스필터에 의해 결합 주파수 성분이 포함된 주파수 대역을 선택하여 부대역 신호를 생성하는 과정을 도시한 도면이다.
- [0076] 도 4에서 붉은 색의 사각형에 의해 표시된 밴드패스필터에 의하여 추출되는 대역은 결합 주파수 성분이 포함되어 있는 주파수 대역이고, 포락 분석은 상기 밴드패스필터에 의하여 추출되어 생성된 부대역 신호에 대해 이루어 질 것이다.
- [0077] 도 5는 도 4에 의하여 생성된 부대역 신호의 파워 스펙트럼을 도시한 도면이다. 도 5에서 도면 부호 510은 상기 입력 신호에 결합 주파수 성분이 포함된 경우 스펙트럼이 나타나는 주파수를 나타내고 있다.
- [0078] 도 5를 참조하면, 상기 도 4에서 생성된 부대역 신호는 결합 주파수 성분을 포함하고 있기에 상기 결합 주파수 영역에서 결합 주파수 성분이 발견 되고 있다. 복수의 결합 주파수에서 상기 스펙트럼이 나타나는 것은 결합 주파수 하모닉 성분들도 같이 나타나는 것이다.
- [0079] 도 7 내지 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따라 베어링의 내륜의 결합 주파수 성분 및 잔여 성분을 산출하는 과정을 설명하기 위하여 도시한 도면이다.
- [0080] 도 7의 도면 부호 710은 포락 신호의 파워 스펙트럼을 나타내고 있고, 도면 부호 720은 가우시안 혼합 모델 기반의 윈도우 함수를 나타낸다.
- [0081] 상기 파워 스펙트럼에서 P_1 내지 P_3 는 결합 주파수의 하모닉 성분을 나타내는 것이고, 하모닉 주파수의 양 옆의 주파수는 사이드 밴드(sideband) 신호에 해당한다.
- [0082] 베어링의 외륜에 있어서는 사이드 밴드 신호가 발견되지 않으나, 내륜에 있어서는 결합 주파수의 하모닉 성분의 양 옆에 하나씩 즉, 두 개의 신호가 발견된다. 폴러의 결합에 있어서는 다수의 사이드 밴드 신호가 발견된다.
- [0083] 결합 주파수 성분에 해당하는 윈도우를 적용하는 범위는 일반적으로 $P_n - \frac{1}{2}P_1$ 부터 $P_n + \frac{1}{2}P_1$ 에 해당하는 범위를 적용한다. 여기서 n 은 n 번째 결합 주파수 하모닉 성분을 나타내기 위한 인덱스(index)로 사용된다.
- [0084] 도 7에서와 같이, 포락 신호의 파워 스펙트럼(710)에 가우시안 혼합 모델 기반의 윈도우 함수(720)를 곱하여 결합 주파수 성분을 분리할 수 있다. 이렇게 분리된 결합 주파수 성분만을 추출하면 도 8과 같다.
- [0085] 도 8의 810은 결합 주파수 성분만을 나타낸다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에서는 도 8에 나타난 결합 주파수 성분에 대한 에너지의 합을 구할 수 있다.
- [0086] 도 9의 910은 도 7의 710에서 도 8의 810을 제외한 성분이다.
- [0087] 즉, 도 9에 나타난 잔여 성분은 도 7의 포락 신호의 파워 스펙트럼(710)에서 도 8에 나타난 결합 주파수 성분만을 제외한 성분이다.
- [0088] 즉, 윈도우에 포함되지 않는 윈도우 외부에 있는 부분이 상기 잔여 성분에 해당한다. 따라서, 본 발명의 일 실

시예에서는 도 9에 나타난 잔여 성분의 에너지를 모두 합하여 잔여 성분들의 에너지의 합을 구할 수 있다.

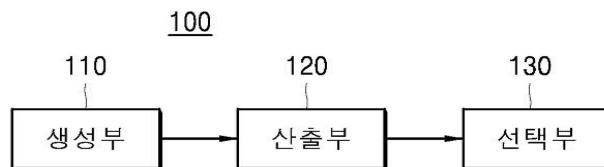
- [0089] 도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신호 분석 장치를 설명하기 위하여 도시한 블록도이다.
- [0090] 도 10은 유전 알고리즘을 적용하여 최적의 주파수 대역을 선택하는 실시예를 도시하고 있다.
- [0091] 도 10을 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 신호 분석 장치(1000)는 집합 형성부(1010), 산출부(120), 표준편차 산출부(1020), 비교부(1030) 및 선택부(130)를 포함할 수 있다.
- [0092] 상기 집합 형성부(1010)는 상기 서로 다른 주파수 대역으로 구성되는 대역 집합을 형성할 수 있다.
- [0093] 상기 집합 형성부(1010)는 물체의 결함 검출에 있어 최적의 주파수 대역을 선택하기 위한 전제로서 적어도 하나 이상의 주파수 대역으로 구성되는 개체군 즉, 대역 집합을 형성할 수 있다.
- [0094] 구체적으로는, 상기 대역 집합을 구성하는 개체 즉 주파수 대역 각각은 낮은 차단 주파수와 높은 차단 주파수로 또 다시 구성될 수 있다. 즉, 높은 차단 주파수에서 낮은 차단 주파수의 차이가 밴드패스필터의 통과 대역폭에 해당할 수 있다. 또한 높은 차단 주파수의 최대값은 나이키스트 샘플링 주파수에 정규화된 값으로 1을 넘어설 수 없다.
- [0095] 초기에는 참조할 만한 선행 자료가 없기에, 최초 생성되는 대역 집합을 구성하는 주파수 대역은 임의의 낮은 차단 주파수와 높은 차단 주파수 값들로 구성하되, 통과 대역 폭(높은 차단 주파수와 낮은 차단 주파수의 차)은 미리 설정된 임의의 값 이상이 되도록 정의할 수 있다.
- [0096] 상기 대역 집합의 크기는 사용자가 미리 설정할 수 있으나, 크기가 작으면 최적의 주파수 대역을 찾는데 시간은 적게 걸리지만 충분히 많은 해의 조합을 탐색하지 못하는 문제가 있고, 크기가 크면 가능한 많은 조합을 탐색할 수 있지만 탐색하는 시간이 오래 소요될 수 있다. 따라서, 본 발명의 다른 실시예에서는 상기 대역 집합의 크기를 상기 탐색 시간을 고려하여 적절하게 설정할 수 있다.
- [0097] 상기 산출부(120)는 상기 대역 집합을 구성하는 각각의 부대역 신호에 대하여 상기 결함 평가값을 산출할 수 있다.
- [0098] 표준편차 산출부(1020)는 상기 대역 집합을 구성하는 각각의 주파수 대역의 부대역 신호에 대한 상기 결함 평가값들의 표준편차값을 산출할 수 있다.
- [0099] 상기 산출부(120)에서 상기 대역 집합을 구성하는 각각의 주파수 대역의 부대역 신호에 대한 상기 결함 평가값들을 산출하고, 상기 표준편차 산출부(1020)에서는 상기 각각의 결함 평가값들의 표준편차값을 산출할 수 있다.
- [0100] 상기 결함 평가값들의 표준편차값을 산출하는 이유는 상기 산출된 결함 평가값의 신뢰도를 담보하기 위함이다. 즉, 상기 결함 평가값들의 표준편차값이 미리 설정된 값 이하가 되는 경우에만 신뢰할 수 있는 것으로 보고, 평가의 대상으로 할 수 있는 것으로 설정할 수 있다.
- [0101] 상기 비교부(1030)는 상기 표준편차값을 미리 설정한 임계치와 비교하여 상기 임계치 보다 클 경우, 상기 대역 집합을 구성하는 상기 주파수 대역을 적어도 하나 이상 변경하여 상기 부대역 신호를 갱신하고, 상기 갱신된 부대역 신호에 대한 상기 결함 평가값들의 표준편차값을 상기 임계치와 비교하는 과정을 반복할 수 있다.
- [0102] 즉, 상기 비교부(1030)는 상기 표준편차값을 상기 임계치와 비교하여 상기 임계치 보다 클 경우 상기 집합 형성부(1010)는 상기 대역 집합을 구성하는 주파수 대역을 변경하여 다시 상기 결함 평가값을 산출할 수 있다. 이렇게 다시 생성된 상기 결함 평가값에 대한 표준편차값을 다시 산출하여 상기 임계치와 비교할 수 있다.
- [0103] 더 구체적으로는, 상기 부대역 신호의 갱신은 각각의 주파수 대역을 구성하는 낮은 차단 주파수와 높은 차단 주파수의 값을 유전 알고리즘에서 새로운 개체군(본 발명에서는 주파수 대역 집합에 해당)을 생성에 사용되는 선택(selection) 과 교차(crossover) 연산을 통해 갱신할 수 있다.
- [0104] 이렇게 본 발명의 일 실시예에서는 대역 집합의 구성요소를 갱신하여 결함 평가값을 산출하는 과정을 반복함으로써 물체의 결함 검출에 있어 최적의 주파수 대역 선택에 있어 정확도를 더 높일 수 있다.
- [0105] 상기 선택부(130)는 상기 표준편차값이 상기 임계치 이하인 경우에 해당하는 대역 집합 중에서 하기 [수학식 2]의 적합성 함수에 기초하여 상기 최적의 주파수 대역을 선택할 수 있다. 즉, 가장 높은 적합성 함수 값을 갖는 주파수 대역을 상기 최적의 주파수 대역으로 선택할 수 있다.

- [0106] [수학식 2]
- $$F_{fitness}(x_{subband}(t)) = RDR_{BCO}(x_{subband}(t)) + RDR_{BCL}(x_{subband}(t)) + RDR_{BCR}(x_{subband}(t))$$
- [0107]
- [0108] 여기서, $F_{fitness}$ 은 RDR 기반의 적합성 함수를 나타내고, t 는 시간, $x_{subband}$ 는 부대역 신호를, RDR_{BCO} , RDR_{BCL} 및 RDR_{BCR} 은 각각 외륜 결함 주파수, 내륜 결함 주파수 및 롤러 결함 주파수 하모닉 성분 주위로 켜워진 가우시안 혼합 모델 기반 윈도우에 대해 산출한 RDR 값을 나타낸다.
- [0109] 상기 [수학식 2]를 통해 회전체의 외륜, 내륜 및 롤러에 대한 결함 평가값을 모두 산출하는 이유는 실제 적용시에는 입력 신호에서 결함이 어디에 있는지 알 수 없으므로 모든 가능성에 대하여 평가를 할 필요가 있기 때문이다.
- [0110] 본 발명의 또 다른 실시예에서 상기 선택부(130)는 상기 산출된 표준편차값이 임계치 이하인 주파수 대역 집합 중에서 가장 높은 $F_{fitness}(x_{subband}(t))$ 값을 산출하는 주파수 대역을 본 발명에서는 물체의 결함 검출에 가장 적합한 주파수 대역으로 간주한다.
- [0111] 도 11은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 신호 분석 장치를 설명하기 위하여 도시한 블록도이다.
- [0112] 도 11을 참조하면, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 신호 분석 장치(1100)는 생성부(110), 산출부(120), 선택부(130) 및 모니터링부(1110)를 포함할 수 있다.
- [0113] 상기 신호 분석 장치(1100)는 상기 모니터링부(1110)를 제외한 나머지 구성요소(110, 120, 130)가 도 1의 신호 분석 장치(100)와 동일하다. 따라서, 본 실시예에서는 상기 모니터링부(1110)에 대해서만 자세히 설명하고, 다른 나머지 구성요소(110, 120, 130)에 대한 설명은 생략하기로 한다.
- [0114] 모니터링부(1110)는 최적의 주파수 대역에 기초하여 물체의 상태를 모니터링할 수 있다.
- [0115] 즉, 상기 모니터링부(1110)는 최적의 신호 분석을 위한 주파수 대역에 기초하여, 상기 물체(예: 구름요소 베어링 외륜)로부터 발생된 입력 신호(진동, 전류, 전압, 음향 방출 등)로부터 상기 물체의 결함 등을 모니터링할 수 있다.
- [0116] 이때, 상기 모니터링부(1110)는 선택부(130)에서 최적의 주파수 대역에 대해서만 결함 주파수가 검출되는지 계속해서 모니터링 할 수 있다.
- [0117] 한편, 또 다른 실시예로서, 상기 신호 분석 장치(1100)는 입력 신호를 계속해서 분석하여 더욱더 최적화된 주파수 대역을 반복해서 개선하고, 선택된 주파수 대역을 이용하여 모니터링부(1110)의 주파수 대역을 갱신할 수 있다.
- [0118] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 신호 분석 방법을 설명하기 위하여 도시한 흐름도이다.
- [0119] 도 1 및 도 12를 참조하면, 단계 1210에서는, 신호 분석 장치의 생성부(110)에서, 입력 신호로부터 서로 다른 주파수 대역의 신호를 추출하여 복수의 부대역 신호를 생성한다.
- [0120] 다음으로, 단계 1220에서는, 신호 분석 장치의 산출부(120)에서, 부대역 신호 각각에 대한 포락 신호의 파워 스펙트럼을 이용하여, 상기 부대역 신호 각각에 대한 결함 평가값을 산출한다.
- [0121] 다음으로, 단계 1230에서는, 신호 분석 장치의 선택부(130)에서, 상기 결함 평가값에 기초하여 최적의 주파수 대역을 선택한다.
- [0122] 여기서, 최대값에 대응하는 신호 분석을 위한 주파수 대역은 모니터링 시스템에서의 신호 분석을 위한 기초 자료로서 활용될 수 있다.
- [0123] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따라 결함 평가값을 산출하는 방법을 설명하기 위하여 도시한 흐름도이다.

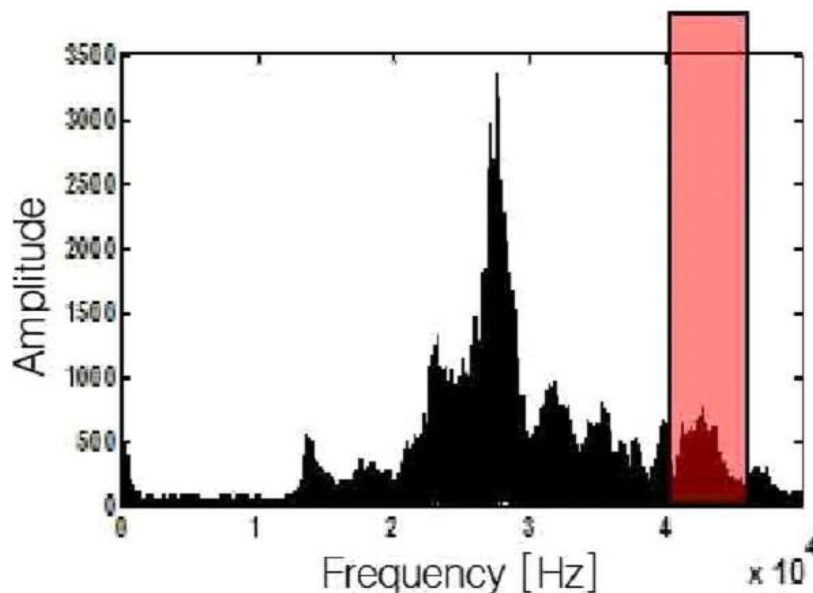
- [0124] 도 1 및 도 13을 참조하면, 단계 1310에서는, 신호 분석 장치의 산출부(120)에서, 각 부대역 신호에 대한 포락 신호의 파워 스펙트럼을 생성할 수 있다.
- [0125] 다음으로, 단계 1320에서는, 신호 분석 장치의 산출부(120)에서, 각 파워 스펙트럼으로부터 결합 주파수 성분 및 결합 주파수 성분을 제외한 잔여 성분을 획득할 수 있다.
- [0126] 다음으로, 단계 1330에서는, 신호 분석 장치의 산출부(120)에서, 결합 주파수 성분에 대한 에너지의 합과, 잔여 성분에 대한 에너지의 합에 기초하여 결합 평가값을 산출할 수 있다.
- [0127] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

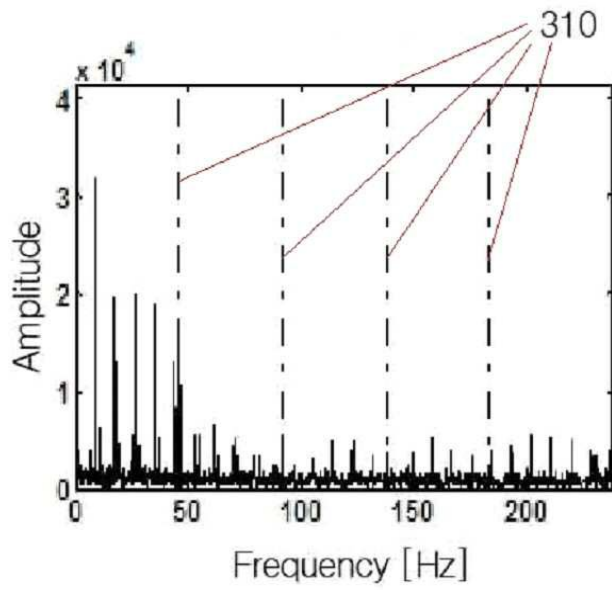
도면1



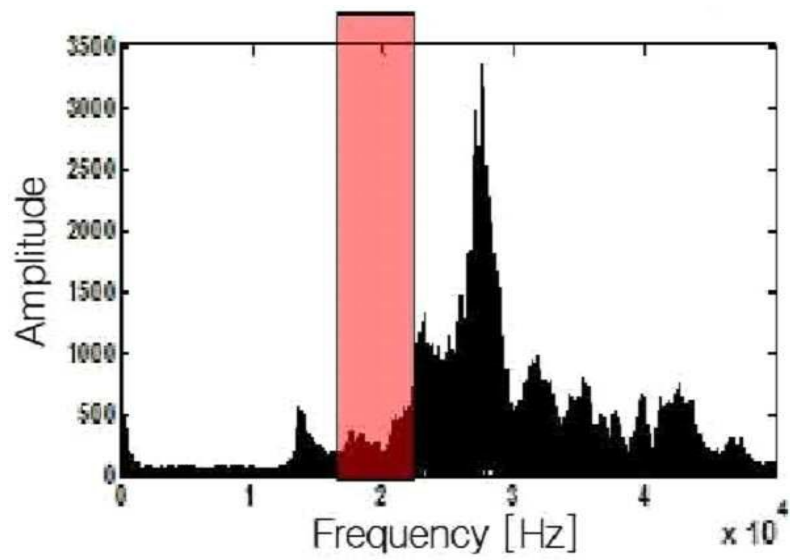
도면2



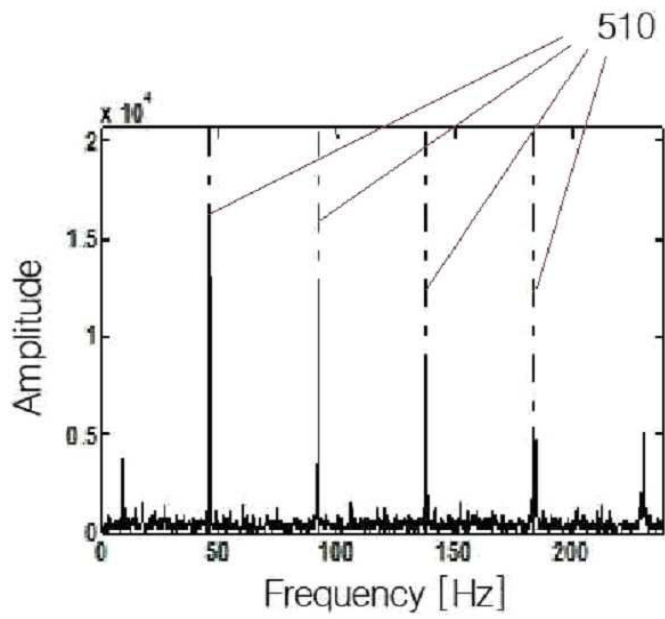
도면3



도면4



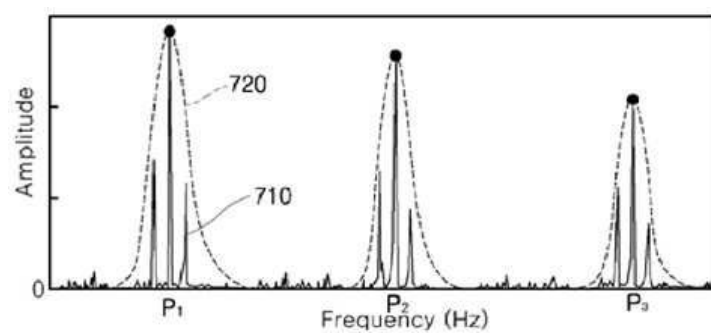
도면5



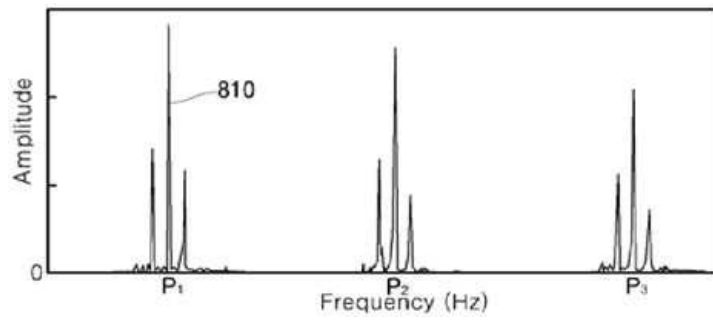
도면6



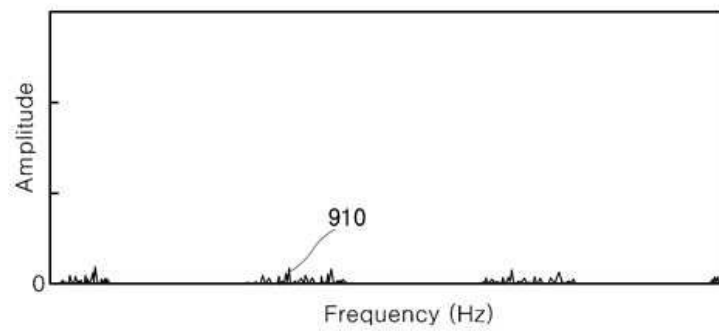
도면7



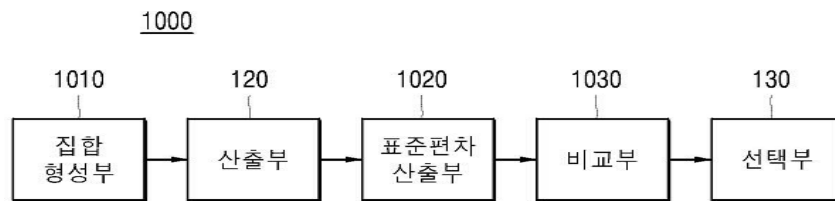
도면8



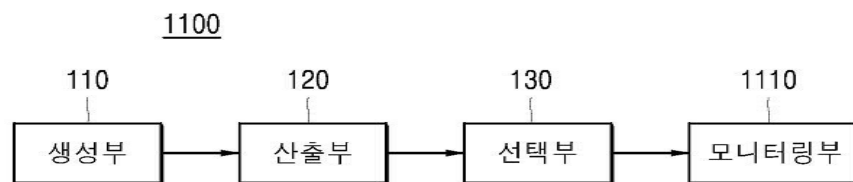
도면9



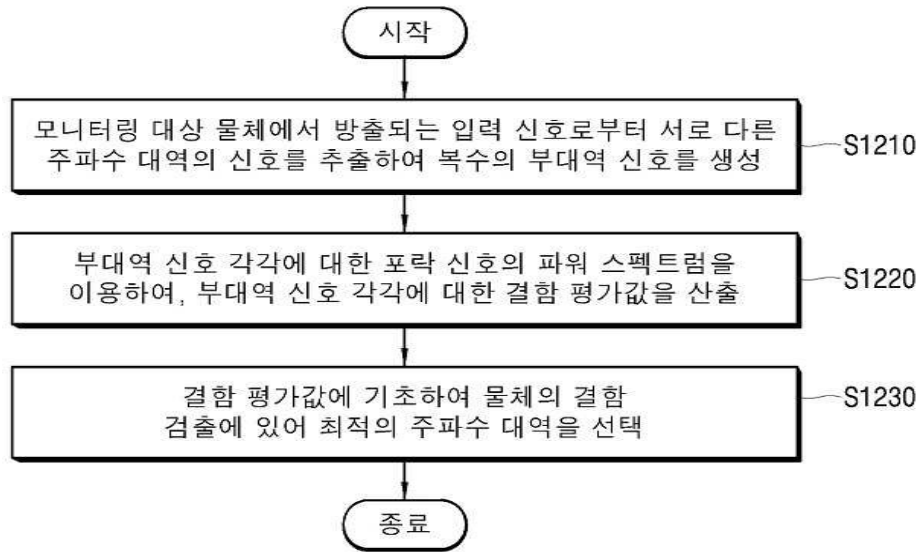
도면10



도면11



도면12



도면13

