



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0107795
(43) 공개일자 2017년09월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01L 5/04 (2006.01) G01L 5/10 (2006.01)
G01P 15/14 (2006.01) G01P 3/68 (2006.01)
G06F 17/14 (2006.01) G06T 7/00 (2017.01)

(52) CPC특허분류
G01L 5/04 (2013.01)
G01L 5/105 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0031563

(22) 출원일자 2016년03월16일

심사청구일자 2016년03월16일

(71) 출원인

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

심성한

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
106-801-3

이준화

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 106-805

(74) 대리인

특허법인충정

전체 청구항 수 : 총 7 항

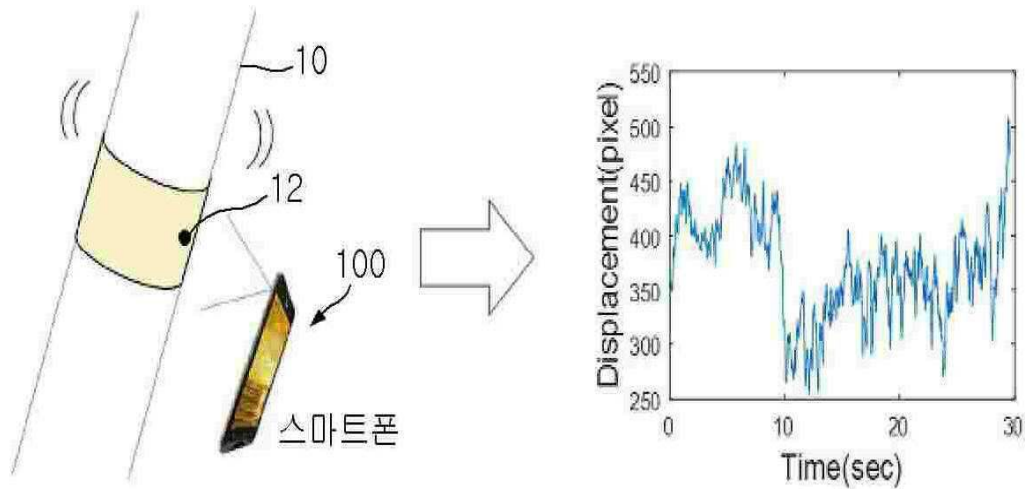
(54) 발명의 명칭 케이블 장력 측정 장치 및 방법

(57) 요약

케이블 장력 측정 장치는 장대교량의 케이블 일측 둘레에 부착된 마커를 촬영하여 2차원 이미지를 획득하는 이미지센서로 이루어진 카메라 모듈; 카메라 모듈로부터 획득된 복수의 2차원 이미지에서 각각의 마커로부터 배경 이미지를 분리하여 각 마커 이미지를 타겟 윈도우로 생성하는 영상 처리부; 각각의 마커 이미지를 포함한 타겟 윈

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



(케이블 변위 계측)

도우 내에 복수의 픽셀 위치 좌표에서 중앙점에 해당하는 좌표를 계산하여 각각의 마커 이미지에 대한 센트로이드 좌표를 계산하는 센트로이드 계산부; 마커의 최초 센트로이드 좌표와 움직임이 있는 마커의 센트로이드 좌표를 비교하여 픽셀 기반의 케이블의 변위 응답을 시간별로 생성하는 변위 응답 생성부; 생성한 케이블의 변위 응답을 푸리에 변환하여 시간기반 영역에서 주파수기반 영역으로 변환하고, 파워 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density) 함수를 적용하여 주파수 성분 분석을 통한 주파수 응답을 계산하며, 주파수 응답으로부터 프레임별 진동모드의 고유 주파수를 추출하는 주파수 응답 분석부; 및 추출한 고유 주파수를 기초로 케이블의 장력을 계산하는 장력 계산부를 포함한다.

(52) CPC특허분류

G01P 15/14 (2013.01)

G01P 3/68 (2013.01)

G06F 17/14 (2013.01)

G06T 7/70 (2017.01)

G06T 7/74 (2017.01)

명세서

청구범위

청구항 1

장대교량의 케이블 일측 둘레에 부착된 마커를 촬영하여 2차원 이미지를 획득하는 이미지센서로 이루어진 카메라 모듈;

상기 카메라 모듈로부터 획득된 복수의 2차원 이미지에서 각각의 마커로부터 배경 이미지를 분리하여 상기 각 마커 이미지를 타겟 윈도우로 생성하는 영상 처리부;

상기 각각의 마커 이미지를 포함한 타겟 윈도우 내에 복수의 픽셀 위치 좌표에서 중앙점에 해당하는 좌표를 계산하여 상기 각각의 마커 이미지에 대한 센트로이드 좌표를 계산하는 센트로이드 계산부;

마커의 최초 센트로이드 좌표와 움직임이 있는 마커의 센트로이드 좌표를 비교하여 픽셀 기반의 케이블의 변위 응답을 시간별로 생성하는 변위 응답 생성부;

상기 생성한 케이블의 변위 응답을 푸리에 변환하여 시간기반 영역에서 주파수기반 영역으로 변환하고, 파워 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density) 함수를 적용하여 주파수 성분 분석을 통한 주파수 응답을 계산하며, 주파수 응답으로부터 프레임별 진동모드의 고유 주파수를 추출하는 주파수 응답 분석부; 및

상기 추출한 고유 주파수를 기초로 상기 케이블의 장력을 계산하는 장력 계산부를 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 장력 측정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 장력 계산부는 기설정된 케이블의 길이, 단위 길이당 무게밀도, 휨 강도, 중력 가속도와, 상기 주파수 응답 분석부에서 계산된 프레임별 진동모드의 고유 주파수와, 상기 고유 주파수에 해당하는 픽(Peak)을 추출하여 상기 추출한 픽에 근사치를 나타내는 모드 넘버를 하기의 수학식의 파라미터로 적용하여 상기 케이블의 장력을 계산하는 것을 특징으로 하는 케이블 장력 측정 장치.

[수학식]

$$\left(\frac{f_n}{n}\right)^2 = \frac{Tg}{4wL^2} + \frac{EI\pi^2g}{4wL^4}n^2$$

여기서, f_n 은 n 번째 진동모드의 고유 주파수, n 은 모드 넘버, g 는 중력 가속도, w 는 단위 길이당 무게밀도, L 은 케이블 길이, EI 은 휨 강도임.

청구항 3

제1항에 있어서,

회전 각속도 데이터를 출력하는 자이로 센서에 의해 상기 카메라 모듈의 손떨림 움직임의 각속도를 감지한 후 손떨림 움직임을 보상하여 2차원 이미지를 생성하는 손떨림 보상부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 장력 측정 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 손떨림 보상부는,

카메라의 손떨림 움직임의 각속도, 회전 각속도를 감지하여 상응하는 디지털 회전 각속도 데이터를 출력하는 자이로 센서;

상기 자이로 센서로부터 출력된 디지털 회전 각속도 데이터에서 오프셋 성분을 제거하고 순수 회전 각속도 데이터를 추출하는 회전 각속도 추출기;

상기 회전 각속도 추출기로부터 추출한 순수 회전 각속도 데이터에서 저주파 잡음 성분을 제거하는 잡음 성분 추출기;

상기 잡음 성분이 제거된 회전 각속도 데이터를 적분하여 손떨림 각도 정보를 산출하는 적분기; 및

손떨림 움직임을 보상하기 위해 상기 카메라 모듈의 이미지센서가 이동해야 할 제어값을 계산하고, 해당 제어값을 사용하여 프레임의 시작점으로 이동하도록 제어하는 이미지센서 위치 제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 장력 측정 장치.

청구항 5

장대교량의 케이블 일측 둘레에 부착된 마커를 카메라 모듈로 촬영하여 2차원 이미지를 획득하는 단계;

상기 카메라 모듈로부터 획득된 복수의 2차원 이미지에서 각각의 마커로부터 배경 이미지를 분리하여 상기 각 마커 이미지를 타겟 윈도우로 생성하는 단계;

상기 각각의 마커 이미지를 포함한 타겟 윈도우 내에 복수의 픽셀 위치 좌표에서 중앙점에 해당하는 좌표를 계산하여 상기 각각의 마커 이미지에 대한 센트로이드 좌표를 계산하는 단계;

마커의 최초 센트로이드 좌표와 움직임이 있는 마커의 센트로이드 좌표를 비교하여 픽셀 기반의 케이블의 변위 응답을 시간별로 생성하는 단계;

상기 생성한 케이블의 변위 응답을 푸리에 변환하여 시간기반 영역에서 주파수기반 영역으로 변환하고, 파워 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density) 함수를 적용하여 주파수 성분 분석을 통한 주파수 응답을 계산하며, 주파수 응답으로부터 프레임별 진동모드의 고유 주파수를 추출하는 단계; 및

기설정된 케이블의 길이, 단위 길이당 무게밀도, 휨 강도, 중력 가속도와, 상기 추출한 프레임별 진동모드의 고유 주파수와, 상기 고유 주파수에 해당하는 픽(Peak)을 추출하여 상기 추출한 픽에 근사치를 나타내는 모드 넘버를 하기의 수학식의 파라미터로 적용하여 상기 케이블의 장력을 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 장력 측정 방법.

[수학식]

$$\left(\frac{f_n}{n}\right)^2 = \frac{Tg}{4wL^2} + \frac{EI\pi^2 g}{4wL^4} n^2$$

여기서, f_n 은 n번째 진동모드의 고유 주파수, n은 모드 넘버, g는 중력 가속도, w는 단위 길이당 무게밀도, L 은 케이블 길이, EI 은 휨 강도임.

청구항 6

장대교량의 케이블 일측 둘레에 부착된 마커를 카메라 모듈로 촬영하여 2차원 이미지를 획득하는 단계;

회전 각속도 데이터를 출력하는 자이로 센서에 의해 상기 카메라 모듈의 손떨림 움직임의 각속도를 감지한 후 손떨림 움직임을 보상하여 2차원 이미지를 생성하는 단계;

상기 카메라 모듈로부터 획득된 복수의 2차원 이미지에서 각각의 마커로부터 배경 이미지를 분리하여 상기 각 마커 이미지를 타겟 윈도우로 생성하는 단계;

상기 각각의 마커 이미지를 포함한 타겟 윈도우 내에 복수의 픽셀 위치 좌표에서 중앙점에 해당하는 좌표를 계산하여 상기 각각의 마커 이미지에 대한 센트로이드 좌표를 계산하는 단계;

마커의 최초 센트로이드 좌표와 움직임이 있는 마커의 센트로이드 좌표를 비교하여 픽셀 기반의 케이블의 변위 응답을 시간별로 생성하는 단계;

상기 생성한 케이블의 변위 응답을 푸리에 변환하여 시간기반 영역에서 주파수기반 영역으로 변환하고, 파워 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density) 함수를 적용하여 주파수 성분 분석을 통한 주파수 응답을 계산하며, 주파수 응답으로부터 프레임별 진동모드의 고유 주파수를 추출하는 단계; 및

상기 추출한 고유 주파수를 기초로 상기 케이블의 장력을 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 장력 측정 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 2차원 이미지를 생성하는 단계는,

상기 카메라 모듈로 촬영시 자이로 센서로부터 손떨림 움직임을 각속도, 회전 각속도를 감지하여 상응하는 디지털 회전 각속도 데이터를 출력하는 단계;

상기 자이로 센서로부터 출력된 디지털 회전 각속도 데이터에서 오프셋 성분을 제거하고 순수 회전 각속도 데이터를 추출하는 단계;

상기 회전 각속도 추출기로부터 추출한 순수 회전 각속도 데이터에서 저주파 잡음 성분을 제거하고, 상기 잡음 성분이 제거된 회전 각속도 데이터를 적분하여 손떨림 각도 정보를 산출하는 단계; 및

손떨림 움직임을 보상하기 위해 상기 카메라 모듈의 이미지센서가 이동해야 할 제어값을 계산하고, 해당 제어값을 사용하여 프레임의 시작점으로 이동하여 손떨림 움직임을 보상하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 장력 측정 방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 케이블 장력 측정 장치에 관한 것으로서, 특히 스마트폰의 카메라를 이용하여 케이블의 변위를 측정하여 주파수 성분 분석을 통해 고유 주파수 성분을 계산한 후 이를 통해 케이블의 장력을 계산하는 케이블 장력 측정 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 최근 해안, 도서, 산간지방 등의 개발로 장대교량의 수요가 증가되고 있다.
- [0003] 장대교량은 재료 및 설계 시공기술의 지속적 발전으로 인하여 현수교나 사장교 등 장지간을 가지는 교량의 건설이 증가하고 있다.
- [0004] 장대교량은 사장교 또는 주 케이블, 행어로 주형을 지지하는 고차 부정정구조물로 다양한 형태의 설계가 가능하고 구조물의 외관이 뛰어나기 때문에 현재 많은 교량에 적용되고 있다.
- [0005] 케이블지지교량은 시공 중 공용 상태에서 케이블의 장력을 지속적으로 측정하여 교량의 건전성을 파악할 수 있다. 장대교량의 케이블은 하중을 분배하는 주요 부재로서 교량 시스템 전체의 건전성과 안전성과 직결되는 문제이다. 따라서, 케이블의 장력 측정은 교량의 건전성과 안전성 제고에 있어 매우 중요한 요소이다.
- [0006] 케이블의 장력을 추정하는 방법은 로드셀 및 유압잭 등을 이용하여 케이블의 응력을 직접 측정하는 방법과 케이블의 형상 조건과 계측된 동적 특성을 활용하여 장력을 구하는 진동법이 많이 활용되고 있다.
- [0007] 케이블의 장력을 추정하는 진동법은 유선 기반의 센서를 활용하기 때문에 비용이 많이 발생하고, 일부 주요 케이블에 대해서만 상시 모니터링을 수행하며, 정기적/비정기적으로 계측을 수행하고 있어 연속적인 모니터링이 어렵다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 스마트폰의 카메라를 이용하여 케이블 둘레에 부착된 마커를 촬영하고, 촬영된 영상 속에서 마커상의 점의 센트로이드를 계산하여 케이블의 변위 응답을 계측하며, 계측한 변위 응답에 대한 주파수 성분 분석을 통해 고유 주파수 성분을 계산한 후 이를 통해 케이블의 장력을 계산하는 케이블 장력 측정 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0009] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따른 케이블 장력 측정 장치는,
- [0010] 장대교량의 케이블 일측 둘레에 부착된 마커를 촬영하여 2차원 이미지를 획득하는 이미지센서로 이루어진 카메라 모듈;
- [0011] 카메라 모듈로부터 획득된 복수의 2차원 이미지에서 각각의 마커로부터 배경 이미지를 분리하여 각 마커 이미지를 타겟 윈도우로 생성하는 영상 처리부;
- [0012] 각각의 마커 이미지를 포함한 타겟 윈도우 내에 복수의 픽셀 위치 좌표에서 중앙점에 해당하는 좌표를 계산하여 각각의 마커 이미지에 대한 센트로이드 좌표를 계산하는 센트로이드 계산부;
- [0013] 마커의 최초 센트로이드 좌표와 움직임이 있는 마커의 센트로이드 좌표를 비교하여 픽셀 기반의 케이블의 변위 응답을 시간별로 생성하는 변위 응답 생성부;
- [0014] 생성한 케이블의 변위 응답을 푸리에 변환하여 시간기반 영역에서 주파수기반 영역으로 변환하고, 파워 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density) 함수를 적용하여 주파수 성분 분석을 통한 주파수 응답을 계산하며, 주파수 응답으로부터 프레임별 진동모드의 고유 주파수를 추출하는 주파수 응답 분석부; 및
- [0015] 추출한 고유 주파수를 기초로 케이블의 장력을 계산하는 장력 계산부를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 본 발명의 특징에 따른 케이블 장력 측정 방법은,
- [0017] 장대교량의 케이블 일측 둘레에 부착된 마커를 카메라 모듈로 촬영하여 2차원 이미지를 획득하는 단계;
- [0018] 회전 각속도 데이터를 출력하는 자이로 센서에 의해 카메라 모듈의 손떨림 움직임을 감지한 후 손떨림 움직임을 보상하여 2차원 이미지를 생성하는 단계;
- [0019] 카메라 모듈로부터 획득된 복수의 2차원 이미지에서 각각의 마커로부터 배경 이미지를 분리하여 각 마커 이미지를 타겟 윈도우로 생성하는 단계;
- [0020] 각각의 마커 이미지를 포함한 타겟 윈도우 내에 복수의 픽셀 위치 좌표에서 중앙점에 해당하는 좌표를 계산하여 각각의 마커 이미지에 대한 센트로이드 좌표를 계산하는 단계;
- [0021] 마커의 최초 센트로이드 좌표와 움직임이 있는 마커의 센트로이드 좌표를 비교하여 픽셀 기반의 케이블의 변위 응답을 시간별로 생성하는 단계;
- [0022] 생성한 케이블의 변위 응답을 푸리에 변환하여 시간기반 영역에서 주파수기반 영역으로 변환하고, 파워 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density) 함수를 적용하여 주파수 성분 분석을 통한 주파수 응답을 계산하며, 주파수 응답으로부터 프레임별 진동모드의 고유 주파수를 추출하는 단계; 및
- [0023] 추출한 고유 주파수를 기초로 케이블의 장력을 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0024] 본 발명의 특징에 따른 케이블 장력 측정 방법은,
- [0025] 장대교량의 케이블 일측 둘레에 부착된 마커를 카메라 모듈로 촬영하여 2차원 이미지를 획득하는 단계;
- [0026] 카메라 모듈로부터 획득된 복수의 2차원 이미지에서 각각의 마커로부터 배경 이미지를 분리하여 각 마커 이미지를 타겟 윈도우로 생성하는 단계;
- [0027] 각각의 마커 이미지를 포함한 타겟 윈도우 내에 복수의 픽셀 위치 좌표에서 중앙점에 해당하는 좌표를 계산하여 각각의 마커 이미지에 대한 센트로이드 좌표를 계산하는 단계;

[0028] 마커의 최초 센트로이드 좌표와 움직임이 있는 마커의 센트로이드 좌표를 비교하여 픽셀 기반의 케이블의 변위 응답을 시간별로 생성하는 단계;

[0029] 생성한 케이블의 변위 응답을 푸리에 변환하여 시간기반 영역에서 주파수기반 영역으로 변환하고, 파워 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density) 함수를 적용하여 주파수 성분 분석을 통한 주파수 응답을 계산하며, 주파수 응답으로부터 프레임별 진동모드의 고유 주파수를 추출하는 단계; 및

[0030] 기설정된 케이블의 길이, 단위 길이당 무게밀도, 휨 강도, 중력 가속도와, 추출한 프레임별 진동모드의 고유 주파수와, 고유 주파수에 해당하는 픽(Peak)을 추출하여 추출한 픽에 근사치를 나타내는 모드 넘버를 하기의 수학적 파라미터로 적용하여 케이블의 장력을 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 장력 측정 방법.

[0031] [수학식]

$$\left(\frac{f_n}{n}\right)^2 = \frac{Tg}{4wL^2} + \frac{EI\pi^2g}{4wL^4}n^2$$

[0032] 여기서, f_n 은 n번째 진동모드의 고유 주파수, n은 모드 넘버, g는 중력 가속도, w는 단위 길이당 무게밀도, L 은 케이블 길이, EI 은 휨 강도임.

발명의 효과

[0034] 진술한 구성에 의하여, 본 발명은 스마트폰을 이용하여 케이블의 장력을 측정하여 휴대가 용이하고 가격이 저렴하며 손쉬운 계측 방법을 제공하는 효과가 있다.

[0035] 본 발명은 별다른 계측 장비없이 스마트폰을 이용하여 케이블의 장력을 측정할 수 있어 기존의 센서 등 계측 장비를 이용하는 것에 비하여 비용이 많이 발생하지 않으며 휴대성과 계측의 용이성으로 인하여 상시나 연속적인 모니터링이 가능한 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0036] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 케이블 장력 측정 장치의 구성을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 제1 실시예에 따른 케이블 장력 측정 장치를 이용하여 케이블 변위 응답을 구한 모습을 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 제1 실시예에 따른 케이블 장력 측정 장치에서 주파수 성분 분석을 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 제2 실시예에 따른 케이블 장력 측정 장치의 구성을 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 제2 실시예에 따른 손떨림 보상부의 내부 구성을 간략하게 나타낸 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0037] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0038] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 케이블 장력 측정 장치의 구성을 나타낸 도면이고, 도 2는 본 발명의 제1 실시예에 따른 케이블 장력 측정 장치를 이용하여 케이블 변위 응답을 구한 모습을 나타낸 도면이고, 도 3은 본 발명의 제1 실시예에 따른 케이블 장력 측정 장치에서 주파수 성분 분석을 나타낸 도면이다.

[0039] 본 발명의 제1 실시예에 따른 케이블 장력 측정 장치(100)는 카메라 모듈(110), 영상 처리부(130), 센트로이드 계산부(140), 변위 응답 생성부(150), 주파수 응답 분석부(160) 및 장력 계산부(170)를 포함한다.

[0040] 본 발명의 제1 실시예에 따른 케이블 장력 측정 장치(100)는 스마트폰, PDA, 태블릿 PC 등과 같이 모바일 기기를 모두 포함하며, 영상을 촬영하여 마커(12)의 센트로이드를 계산하고 케이블(10)의 변위 응답과 주파수 성분

분석이 가능한 기기이면 어떠한 장치도 가능하며, 본 발명의 바람직한 실시예로 스마트폰을 예시하고 있다.

[0041] 카메라 모듈(110)은 장대교량의 케이블 일측 둘레에 부착된 마커(12)를 촬영하여 2차원 이미지를 획득하는 이미지 센서로 이루어진다.

[0042] 영상 처리부(130)는 카메라 모듈(110)로부터 획득된 복수의 2차원 이미지에서 각각의 마커(12)로부터 배경 이미지를 분리하여 상기 각 마커 이미지를 타겟 윈도우로 생성한다.

[0043] 센트로이드 계산부(140)는 각각의 마커 이미지를 포함한 타겟 윈도우 내에 복수의 픽셀 위치 좌표를 중앙점에 해당하는 좌표를 [수학식 1]에 의해 상기 각각의 마커 이미지에 대한 센트로이드 좌표를 계산한다.

수학식 1

$$x_c = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} x_i$$

[0044]

$$y_c = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_i$$

[0045]

[0046] 여기서, x_c 와 y_c 는 마커 상에서 중앙점 픽셀의 좌표, m은 행을 나타내고, n은 열을 나타내며, x_i 와 y_i 는 마커 상의 픽셀 집합의 x와 y의 픽셀 좌표를 나타낸다.

[0047] 변위 응답 생성부(150)는 마커(12)의 최초 센트로이드 좌표와 움직임이 있는 마커(12)의 센트로이드 좌표를 비교하여 픽셀 기반의 케이블(10)의 변위 응답을 시간별로 생성한다.

[0048] 즉, 변위 응답 생성부(150)는 최초로 계산된 센트로이드 좌표를 기준으로 그 이후에 계산된 센트로이드를 비교하여 케이블(10)의 변위 응답을 생성한다.

[0049] 주파수 응답 분석부(160)는 케이블(10)의 변위 응답을 푸리에 변환하여 시간기반 영역에서 주파수기반 영역으로 변환하고, 파워 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density) 함수를 적용하여 주파수 성분 분석을 통한 주파수 응답을 계산하며, 주파수 응답으로부터 프레임별(n번째) 진동모드의 고유 주파수를 추출한다. 여기서, 파워 스펙트럼 밀도 함수는 공지된 기술로 상세한 설명을 생략한다.

[0050] 장력 계산부(170)는 고유 주파수에 해당하는 픽(Peak)을 추출하여 다음의 [수학식 2]를 통해 장력을 계산한다.

[0051] 이때, 고유 주파수 사이의 간격은 일정하다고 가정 하에 하기의 [표 1]과 같이 각 고유 주파수에 해당하는 모드 번호의 근사치를 구한다.

수학식 2

$$\left(\frac{f_n}{n} \right)^2 = \frac{Tg}{4wL^2} + \frac{EI\pi^2g}{4wL^4} n^2$$

[0052]

[0053] 여기서, f_n 은 n번째 진동모드의 고유 주파수, n은 모드 번호, g는 중력 가속도, w는 단위 길이당 무게밀도, L

은 케이블 길이, EI 은 휨 강도이다.

전술한 수학식 2를 복수의 $(f_n/n)^2$, n^2 값을 통해 선형 회귀하면 상수항 $Tg/4wL^2$ 이 유도된다.

유도된 상수항과 주어진 케이블(10)의 길이 및 무게값을 이용하면 케이블(10)의 장력이 계산된다.

표 1

Estimated Mode Num.	Natural Freq. (Hz)
9	8.1364
11	9.9510
12	10.8875
13	11.8241

즉, 장력 계산부(170)는 미리 주어진 케이블(10)의 길이, 단위 길이당 무게밀도, 휨 강도, 중력 가속도와, 주파수 응답 분석부(160)에서 계산된 n번째 진동모드의 고유 주파수, 모드 넘버를 전술한 [수학식 2]의 파라미터로 적용하여 케이블(10)의 장력을 계산한다.

도 4는 본 발명의 제2 실시예에 따른 케이블 장력 측정 장치의 구성을 나타낸 도면이고, 도 5는 본 발명의 제2 실시예에 따른 손떨림 보상부의 내부 구성을 간략하게 나타낸 블록도이다.

본 발명의 제2 실시예에 따른 케이블 장력 측정 장치(100)는 카메라 모듈(110), 손떨림 보상부(120), 영상 처리부(130), 센트로이드 계산부(140), 변위 응답 생성부(150), 주파수 응답 분석부(160) 및 장력 계산부(170)를 포함한다. 여기서, 제2 실시예는 전술한 제1 실시예와 중복되는 구성요소의 설명을 생략한다.

카메라 모듈(110)은 케이블(10)의 둘레에 부착된 마커(12)를 촬영하여 2차원 이미지를 획득한다.

손떨림 보상부(120)는 자이로 센서(122), 회전 각속도 추출기(124), 잡음 성분 추출기(126) 및 이미지센서 위치 제어부(128)를 포함한다.

자이로 센서(122)는 카메라의 손떨림 움직임의 각속도, 회전 각속도를 감지하여 상응하는 디지털 회전 각속도 데이터를 출력한다.

회전 각속도 추출기(124)는 자이로 센서(122)로부터 출력된 디지털 회전 각속도 데이터에서 오프셋 성분을 제거하고 순수 회전 각속도 데이터를 추출한다.

잡음 성분 추출기(126)는 회전 각속도 추출기(124)로부터 추출한 순수 회전 각속도 데이터에서 저주파 잡음 성분을 제거한다.

적분기는 잡음 성분이 제거된 회전 각속도 데이터를 적분하여 손떨림 각도 정보를 산출한다.

이미지센서 위치 제어부(128)는 손떨림 움직임을 보상하기 위해 카메라 모듈(110)의 이미지센서가 이동해야 할 제어값을 계산하고, 해당 제어값을 사용하여 프레임의 시작점을 이동하도록 제어한다.

영상 처리부(130)는 손떨림 보상부(120)로부터 이미지센서의 상하 및 좌우에 대한 손떨림을 보정한 후, 카메라 모듈(110)로부터 획득된 복수의 2차원 이미지에서 각각의 마커(12)로부터 배경 이미지를 분리하여 상기 각 마커 이미지를 타겟 윈도우로 생성한다.

센트로이드 계산부(140)는 각각의 마커 이미지를 포함한 타겟 윈도우 내에 복수의 픽셀 위치 좌표에서 중앙점에 해당하는 좌표를 전술한 [수학식 1]에 의해 상기 각각의 마커 이미지에 대한 센트로이드 좌표를 계산한다.

변위 응답 생성부(150)는 마커(12)의 최초 센트로이드 좌표와 움직임이 있는 마커(12)의 센트로이드 좌표를 비

교하여 픽셀 기반의 케이블(10)의 변위 응답을 시간별로 생성한다.

[0070] 주파수 응답 분석부(160)는 케이블(10)의 변위 응답을 푸리에 변환하여 시간기반 영역에서 주파수기반 영역으로 변환하고, 파워 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density) 함수를 적용하여 주파수 성분 분석을 통한 주파수 응답을 계산하며, 주파수 응답으로부터 프레임별(n번째) 진동모드의 고유주파수를 추출한다.

[0071] 장력 계산부(170)는 고유 주파수에 해당하는 픽(Peak)을 추출하여 전술한 [수학식 2]를 통해 장력을 계산한다.

[0072] 이상에서 설명한 본 발명의 실시예는 장치 및/또는 방법을 통해서만 구현이 되는 것은 아니며, 본 발명의 실시예의 구성에 대응하는 기능을 실현하기 위한 프로그램, 그 프로그램이 기록된 기록 매체 등을 통해 구현될 수도 있으며, 이러한 구현은 앞서 설명한 실시예의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야의 전문가라면 쉽게 구현할 수 있는 것이다.

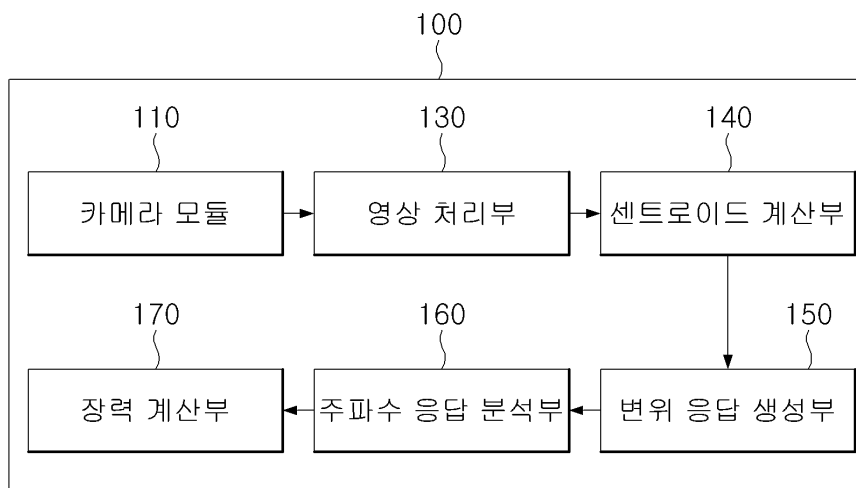
[0073] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

부호의 설명

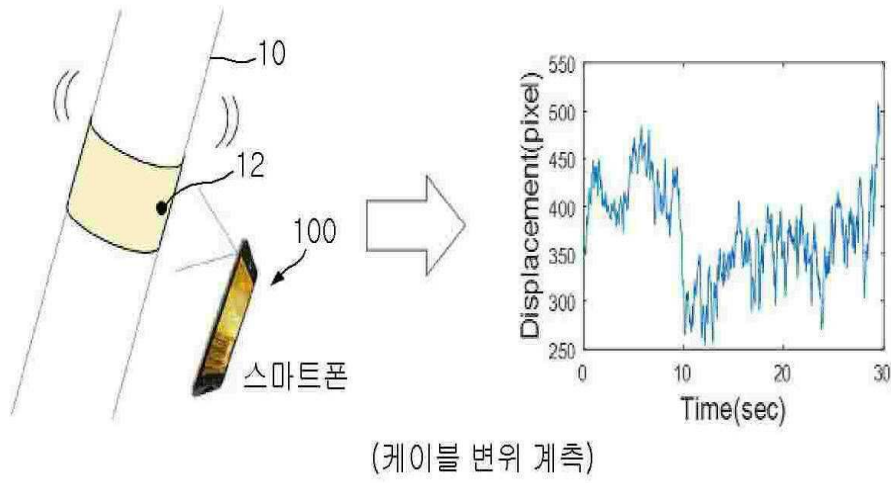
[0074]	10: 케이블	12: 마커
	100: 케이블 장력 측정 장치	110: 카메라 모듈
	120: 손떨림 보상부	122: 자이로 센서
	124: 회전 각속도 추출기	126: 잡음 성분 추출기
	128: 이미지센서 위치 제어부	130: 영상 처리부
	140: 센트로이드 계산부	150: 변위 응답 생성부
	160: 주파수 응답 분석부	170: 장력 계산부

도면

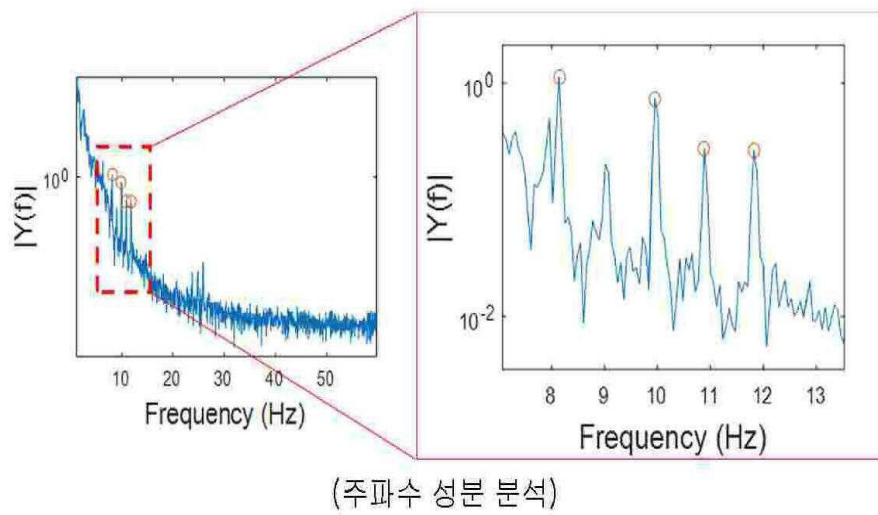
도면1



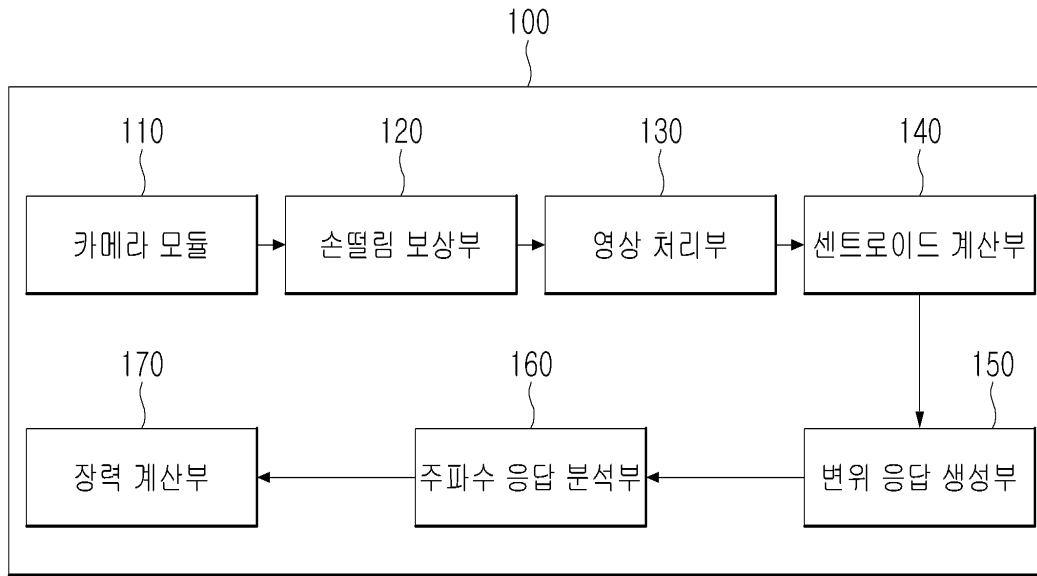
도면2



도면3



도면4



도면5

