(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년04월22일
(11) 등록번호 10-2243634
(24) 등록일자 2021년04월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01C 25/00 (2006.01) *G01P 15/18* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01C 25/005 (2013.01)
G01P 15/18 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0129393
(22) 출원일자 2019년10월17일
심사청구일자 2019년10월17일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020000045959 A
JP2018036263 A
KR1020070084718 A
KR1020050078108 A

(73) 특허권자
한국기술교육대학교 산학협력단
충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 (한국기술교육대학교내)
(72) 발명자
이병렬
경기도 용인시 수지구 진산로 90 삼성 5차 APT 513-1402호
파이잘
충남 천안시 동남구 병천면 충절로 1638번지 106동 306호
(74) 대리인
이철희

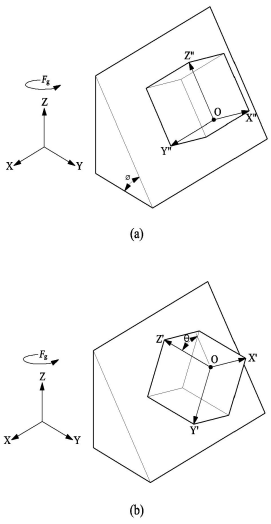
전체 청구항 수 : 총 5 항 심사관 : 이세경

(54) 발명의 명칭 **다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정 기구**

(57) 요 약

본 발명은 Z축을 회전축으로 하는 X-Y-Z좌표계; X-Y-Z좌표계가 Y축을 중심으로 제1각도로 회전된 X"-Y"-Z"좌표계; X"-Y"-Z"좌표계가 X"축을 중심으로 제2각도로 회전된 X'-Y'-Z'좌표계; X-Y-Z좌표계가 부착되고, Z축을 중심으로 회전하는 회전테이블(rate table): X-Y평면과 평행한 제1평면 및 Y"-Z"평면과 평행한 제2평면을 포함하는 고정구(fixture)를 포함하되, 제2평면에 배치되는 3축 MEMS 관성센서의 3개 측정 축이 X'-Y'-Z'와 평행하게 배치되어, 제1각도 및 제2각도에 의해서 회전테이블의 회전력이 X'축, Y'축 및 Z'축으로 동일한 크기로 분배되어 작용함으로써, 3축 동시 검보정이 가능하도록 형성된 다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정 기구에 관한 것이다.

대 표 도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	10084665
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	항공우주부품 기술개발 사업
연구과제명	유/무인 항공기용 고신뢰성 IMU 및 GNSS, 지자계, 고도계를 통합한 IMU embedded 6축, 10축 복합항법시스템 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	신성씨앤티
연구기간	2017.10.01 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

Z축을 회전축으로 하는 X-Y-Z좌표계;

상기 X-Y-Z좌표계가 Y축을 중심으로 제1각도로 회전된 X"-Y"-Z"좌표계;

상기 X"-Y"-Z"좌표계가 X"축을 중심으로 제2각도로 회전된 X'-Y'-Z'좌표계;

상기 X-Y-Z좌표계가 부착되고, 상기 Z축을 중심으로 회전하는 회전테이블(rate table): 및

X-Y평면과 평행한 제1평면 및 Y"-Z"평면과 평행한 제2평면을 포함하는 고정구(fixture)

를 포함하되,

상기 제2평면에 배치되는 3축 MEMS 관성센서의 3개 측정 축이 X'-Y'-Z'와 평행하게 배치되어, 상기 제1각도 및 상기 제2각도에 의해 상기 회전테이블의 회전력이 X'축, Y'축 및 Z'축으로 동일한 크기로 분배되어 작용함으로써, 3축 동시 검보정이 가능하도록 형성된

다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정 기구.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1각도는 54.74° 또는 125.26° 이고,

상기 제2각도는 45° 또는 135° 인

다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정 기구.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 회전테이블은,

상기 3축 MEMS 관성센서의 측정 각속도 범위를 단계적으로 가변하며 상기 3축 MEMS 관성센서의 출력을 측정한 후 선형함수로 근사함으로써 3축 방향의 스케일팩터(scale factor)를 구하는

다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정 기구.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 회전테이블이 정지된 상태에서,

상기 3축 MEMS 관성센서의 바이어스 오차 및 노이즈 성능이 평가되는

다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정 기구.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 고정구의 상기 제1각도 및 상기 제2각도는,

교정 완료된 마스터 3축 MEMS 관성센서를 상기 고정구에 설치하여 얻어진 상기 스케일팩터를 이용하여 교정한 후, 테스트 대상인 상기 3축 MEMS 관성센서의 스케일팩터를 구하는

다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정 기구.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정 기구 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 이 부분에 기술된 내용은 단순히 본 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것은 아니다.

[0003] 다축 MEMS 관성센서는 통상 직교좌표계의 3축 방향에 대한 각속도 측정결과를 제공하도록 구성된다. MEMS 관성센서는 제조과정에서 오차를 포함할 수 있다. 각 축의 관성센서 특성은 출하 전에 평가되고, 설계 사양을 만족하도록 회로적으로 제조 오차를 보정하여 MEMS 관성센서가 완성된다.

[0004] 도 1을 참조하면, MEMS 관성센서는 제조과정에서 웨이퍼 레벨 테스트, 패키징 후 신뢰성 테스트, 마지막으로 기능 테스트 및 검보정을 거쳐 각각의 센서마다의 교정이 수행되어 완성된다. 기능 테스트는 센서 민감도인 스케일팩터(scale factor), 바이어스 오차 및 노이즈 성능 평가를 포함한다. 바이어스 오차 및 노이즈 성능은 각속도 입력이 없는 상태에서 평가되고, 스케일팩터는 센서에 여러 단계의 각속도를 인가하여 그 출력을 선형회귀분석하여 얻는다.

[0005] 범용의 다축 MEMS 관성센서는 대부분의 모바일 기기에 적용될 정도로 수요가 확대되었으며 제조원가 절감은 한계에 도달했다. 한편, 제조된 다축 MEMS 관성센서는 여전히 각 축 별로 센서 특성의 측정이 이루어져, 모든 축의 측정을 완료하는데 상당한 시간 비용이 소요된다. 3축 센서의 경우, 각 축마다 알려진 관성력을 부가하여 특성을 측정한 후 센서의 장착 위치를 변경하는 과정이 3회 반복된다. 일반적으로 제조 비용의 1/3는 이러한 검보정 및 테스트 비용에 해당한다고 알려져 있다.

[0006] 검보정 과정은 3축 회전테이블(rate table)에서 수행될 수도 있으나, 1축 회전테이블에 회전테이블 자체의 오차가 개입될 여지가 크고, 검보정 장비 비용이 클 뿐만 아니라 테스트 대상인 MEMS 관성센서의 탈부착 과정만 생략될 뿐 각 축에 대한 검보정은 개별적으로 이루어지므로 여전히 많은 시간이 소요된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 개별 축 별로 반복 수행되는 관성센서 특성평가 과정을 개선하여 3축 방향 각속도 측정 특성이 동시에 평가될 수 있도록 함으로써, 제조된 다축 MEMS 관성센서의 시험 평가에 소요되는 시간을 크게 단축하고 제조원가를 저감할 수 있는, 1축 회전테이블 및 이에 설치되는 MEMS 관성센서 설치구(Fixture)를 제공하는 것이 목적이다.

과제의 해결 수단

[0008] 이와 같은 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정 기구는, Z축을 회전축으로 하는 X-Y-Z좌표계; X-Y-Z좌표계가 Y축을 중심으로 제1각도로 회전된 X"-Y"-Z"좌표계; X"-Y"-Z"좌표계가 X"축을 중심으로 제2각도로 회전된 X'-Y'-Z'좌표계; X-Y-Z좌표계가 부착되고, Z축을 중심으로 회전하는 회전테이블(rate table): 및 X-Y평면과 평행한 제1평면 및 Y"-Z"평면과 평행한 제2평면을 포함하는 고정구(fixture)를 포함하되, 제2평면에 배치되는 3축 MEMS 관성센서의 3개 측정 축이 X'-Y'-Z'와 평행하게 배치되어, 제1각도 및 제2각도에 의해 회전테이블의 회전력이 X'축, Y'축 및 Z'축으로 동일한 크기로 분배되어 작용함으로써, 3축 동시 검보정이 가능하도록 형성된 것을 특징으로 한다.

[0009] 또한, 제1각도는 54.74° 또는 125.26° 이고, 제2각도는 45° 또는 135° 인 것을 특징으로 한다.

[0010] 또한, 회전테이블은, 3축 MEMS 관성센서의 측정 각속도 범위를 단계적으로 가변하며 3축 MEMS 관성센서의 출력을 측정한 후 선형함수로 근사함으로써 3축 방향의 스케일팩터(scale factor)를 구하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 또한, 회전테이블이 정지된 상태에서, 3축 MEMS 관성센서의 바이어스 오차 및 노이즈 성능이 평가되는 것을 특징으로 한다.

[0012] 또한, 고정구의 제1각도 및 제2각도는, 교정 완료된 마스터 3축 MEMS 관성센서를 고정구에 설치하여 얻어진 스케일팩터를 이용하여 교정한 후, 테스트 대상인 3축 MEMS 관성센서의 스케일팩터를 구하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0013] 본 발명은 1축으로 알려진 관성력을 제공할 수 있는 장치 상에 설치되는 설치구(Fixture)로서, 1축 방향으로 관성력이 가해지면 설치구에 설치된 다축 MEMS 가속도 센서의 3축 방향으로 동일한 크기의 관성력이 부가되도록 하여, 3축 방향 관성센서 특성을 동시에 평가할 수 있어, 검보정 시간을 크게 단축할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 일반적인 MEMS 관성센서의 제조 흐름도를 나타낸다.

도 2는 일반적인 MEMS 관성센서의 1축 검보정을 나타내는 개념도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정을 나타내는 개념도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정 기구를 나타내는 사진이다.

도 5는 일반적인 MEMS 관성센서의 1축 검보정에 의해 측정된 각 축의 센서 특성을 나타낸다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정 기구에 의해 측정된 각 축의 센서 특성을 나타낸다.

도 7은 일반적인 1축 검보정의 결과에 대한, 3축 동시 검보정 기구의 경사면 각도 오차에 따른 다축 MEMS 관성센서의 검보정 오차를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 이하, 본 발명의 일부 실시예들을 예시적인 도면을 통해 상세하게 설명한다. 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.

[0016] 또한, 본 발명의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 제 1, 제 2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다. 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질이나 차례 또는 순서 등이 한정되지 않는다. 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 '포함', '구비'한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 '…부', '모듈' 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0017] 도 1은 일반적인 MEMS 관성센서의 제조 흐름도를 나타낸다.

[0018] 도 2는 일반적인 MEMS 관성센서의 1축 검보정을 나타내는 개념도이다.

[0019] 도 1 및 도 2를 참조하면, 통상의 MEMS 관성센서는 패키징 완료 후 각각의 축에 대해 검보정을 수행하여 각 축의 센서 민감도인 스케일팩터를 파악하여 이를 회로적으로 보정함으로써 설계 사양을 만족하는 개별 MEMS 관성센서가 완성된다.

[0020] 일반적으로 검보정 최종 단계에서 바이어스나 노이즈에 대한 성능은 무부하 즉, 정지상태에서 수행되나, 각 축의 스케일팩터는 MEMS 관성센서의 측정 축을 회전테이블의 회전축과 일치하도록 설치한 후 회전테이블의 각속도를 MEMS 관성센서의 측정 범위 내에서 변화시켜 가면서 MEMS 관성센서의 출력을 측정한 후 선형함수로 근사하여 얻는다. 측정의 정확도를 확보하기 위해서는 MEMS 관성센서가 설치된 회전테이블의 각속도가 정확하게 제공될 필요가 있다.

[0021] 1축 회전테이블이 사용되는 경우, 일 축에 대한 검보정이 완료되면 MEMS 관성센서의 다음 측정 축이 회전 테이블의 회전축과 정렬되도록 MEMS 관성센서를 재부착한 후 MEMS 관성센서의 측정 범위에서의 검보정을 수행한다. 예컨대, MEMS 관성센서의 측정 범위가 -200 deg/sec에서 +200 deg/sec인 경우라면, 회전테이블의 각속도를 각 축에 대해 각각 -200 deg/sec에서 +200 deg/sec까지 변화시키며 출력을 측정한다. 각속도 변화폭은 검보정 정밀

도에 대한 필요에 따라 적절히 선정될 수 있으며, 예컨대 10 deg/sec 단위일 수 있다. 예시의 경우, 3축 MEMS 관성센서의 검보정에는, 3회의 MEMS 관성센서 설치, 약 120회의 측정 포인트가 요구된다.

[0022] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정을 나타내는 개념도이다.

[0023] 도 3을 참조하면, 일 실시예에 따른 다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정에서 MEMS 관성센서는 다음과 같이 배치된다. 1축 회전테이블의 수평면 상에는 MEMS 관성센서의 설치구가 설치된다. 설치구는 회전테이블의 수평면에 대해 기울어진 평면을 제공하고, MEMS 관성센서는 그 평면에 설치되되 추가로 기울어져 설치된다.

[0024] 설치구는 제1평면 및 제2평면을 포함하되, 제1평면과 제2평면은 제1각도로 기울어진 관계를 갖는다. 제1평면은 회전테이블의 수평면과 결합되고, 제2평면 상에는 다축 MEMS 관성센서가 결합된다. 다축 MEMS 관성센서는 제2평면 상에서 제2각도만큼 회전 배치된다. 즉, 회전테이블의 회전축이 제2평면에 투영되어 형성된 축과 다축 MEMS 관성센서의 일 축이 제2각도를 가지고 배치되도록 회전된다. 다르게 표현하면, 다축 MEMS 관성센서의 축 중에서 제2평면에 수직인 축을 중심으로 나머지 두 축이 제2각도만큼 제2평면 상에서 회전 배치된다.

[0025] 다축 MEMS 관성센서의 일 축이 회전테이블의 회전축과 일치하고, 다축 MEMS관성센서의 다른 두 축은 회전테이블의 수평면에 놓이는 일반적인 경우와 비교하면, 일 실시예의 다축 MEMS 관성센서는 그 직교좌표계가 두 축에 대해 순차적으로 회전 배치된 형태가 된다.

[0026] 도 3의 (a)는 회전테이블의 좌표계가 Y축 기준으로 제1각도인 각도 Φ로 1차 회전된 상태를 도시한다. 도 3의 (b)는 1차 회전으로 Y-Z 평면이 고정구의 경사면에 해당하도록 배치된 상태에서, X축을 기준으로 제2각도인 각도 Θ로 2차 회전된 상태를 도시한다.

[0027] 즉, 회전테이블에 부착된 직교좌표계는 Z축이 회전축이고, XY평면이 회전테이블의 수평면이며 제1평면인 X-Y-Z좌표계이다. X-Y-Z좌표계가 제1평면과 Y축을 기준으로 제1각도로 기울어진 제2평면에 투영된 좌표계가 X"-Y"-Z"라고 할 때, X"축을 기준으로 제2각도만큼 회전된 좌표계 X'-Y'-Z'와 다축 MEMS 관성센서의 측정 축이 정렬되도록 일 실시예에 따른 고정구가 형성된다.

[0028] 여기서, 일 실시예에서는 각도 Θ는 45° 로 선정하고, 각도 Φ는 회전테이블의 관성력이 X', Y' 및 Z' 축 방향으로 동일하게 작용하는 각도가 되도록 선정함으로써 동시 3축 검보정이 수행될 수 있다.

[0029] 다축 MEMS 관성센서에서 각 축마다 개별적으로 검보정이 수행되는 경우에 대한 스케일팩터는 다음 수학식 1과 같이 모델링할 수 있다. 여기서, s_x, s_y 및 s_z는 스케일팩터, u_x, u_y 및 u_z는 관성력 입력 값, $u_{x,o}$, $u_{y,o}$ 및 $u_{z,o}$는 바이어스 오프셋이다.

수학식 1

[0030]
$$u_{s,x} = s_x . u_x + u_{x,0}$$
$$u_{s,y} = s_y . u_y + u_{y,0}$$
$$u_{s,z} = s_z . u_z + u_{z,0}$$

[0031] 이를 확장하여, 3축 검보정에 대한 스케일팩터 S는 다음 수학식 2와 같이 표현할 수 있다. 이때, MEMS 관성센서에서의 출력은 수학식 3과 같이 벡터 U_s로, 바이어스 오프셋은 수학식 4와 같이 U_0로 표현할 수 있으며, 이들은 다음 수학식 5와 같은 관계식으로 표현된다. U_i는 MEMS 관성센서에 인가되는 관성력 입력을 나타낸다.

수학식 2

[0032]
$$S = \begin{bmatrix} s_{xx} & s_{xy} & s_{xz} \\ s_{yx} & s_{yy} & s_{yz} \\ s_{zx} & s_{zy} & s_{zz} \end{bmatrix}$$

수학식 3

[0033] $$U_s = [u_{s,x}\ u_{s,y}\ u_{s,z}]^T$$

수학식 4

[0034] $$U_0 = [u_{x,0}\ u_{y,0}\ u_{z,0}]^T$$

수학식 5

[0035] $$U_s = S.U_i + U_0$$

[0036] 스케일팩터 S 를 나타내는 수학식 2을 참조하면, 대각 성분들은 각 축의 스케일팩터를 나타내며, 비대각 성분들은 축간 민감도를 나타낸다.

[0037] 회전테이블의 좌표계와 2차에 걸쳐 기울여진 다축 MEMS 관성센서의 좌표계를 [$O\ X\ Y\ Z$] 및 [$O\ X'\ Y'\ Z'$]로 정의하고, 두 좌표계는 같은 중심 0에 놓여있다고 가정한다. 두 좌표계 간의 회전 매트릭스 R 은 다음 수학식 6과 같이 표현될 수 있다.

수학식 6

[0038] $$R = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{X',X}) & \cos(\theta_{X',Y}) & \cos(\theta_{X',Z}) \\ \cos(\theta_{Y',X}) & \cos(\theta_{Y',Y}) & \cos(\theta_{Y',Z}) \\ \cos(\theta_{Z',X}) & \cos(\theta_{Z',Y}) & \cos(\theta_{Z',Z}) \end{bmatrix}$$

[0039] 회전테이블 좌표계에서의 출력 벡터 U_w 는 수학식 7과 같이, 다축 MEMS 관성센서가 배치된 고정구 상의 좌표계에서의 출력 벡터 U_f 는 수학식 8과 같이 표현될 수 있으며, 이 경우 U_f 와 U_w 는 수학식 9의 관계를 가지게 된다.

수학식 7

[0040] $$U_w = [0\ 0\ F_g]^T$$

수학식 8

[0041] $$U_f = [u_{X'}\ u_{Y'}\ u_{Z'}]^T$$

수학식 9

[0042] $$\boldsymbol{U_f = RU_w}$$

[0043] 회전테이블에서 수학식 7과 같이 1축 방향으로만 입력이 있는 경우, 고정구 상에 다축 MEMS 관성센서가 배치된

좌표계에서 받게 되는 힘과 출력은 수학식 10과 같이 정리될 수 있다.

수학식 10

$$U_f = \begin{bmatrix} u_{X'} \\ u_{Y'} \\ u_{Z'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta).\sin(\emptyset) \\ \sin(\theta).\sin(\emptyset) \\ \cos(\emptyset) \end{bmatrix} F_g$$

[0044]

[0045] $u_{x'}$, $u_{y'}$ 및 $u_{z'}$가 모두 같은 값인 각도 조건을 구하기 위한 계산 과정은 다음 다음 수학식 11과 같다.

수학식 11

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{u_{x'}}{u_{y'}}\right)$$
$$\theta = 45°$$
$$\emptyset = \tan^{-1}\left(\frac{u_{x'}\cos(\theta) + u_{y'}\sin(\theta)}{u_{z'}}\right)$$
$$\emptyset = 54.74°$$

[0046]

[0047] 즉, 1축 회전테이블로 입력되는 관성력 F_g가 다축 MEMS 관성센서의 3축 방향으로 동일하게 분배되는 고정구의 각도 조건은, Θ는 45° , ϕ는 54.74° 임을 알 수 있다. 검증을 위해 얻어진 각도를 수학식 10에 다시 대입하면 수학식 12 및 수학식 13와 같이 정리되며, 일 실시예에 따른 고정구 상의 다축 MEMS 관성센서는 1축의 회전테이블로부터 3축 방향으로 동일한 관성력 입력이 됨을 알 수 있다.

수학식 12

$$U_f = \begin{bmatrix} u_{X'} \\ u_{Y'} \\ u_{Z'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} F_g$$

[0048]

수학식 13

$$U_s = \begin{bmatrix} u_{s,x} \\ u_{s,y} \\ u_{s,z} \end{bmatrix} = S.\frac{F_g}{\sqrt{3}} + U_0$$

[0049]

[0050] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정 기구를 나타내는 사진이다.

[0051] 도 4를 참조하면, 본 발명의 개념에 따른 3축 동시 검보정을 실험적으로 검증하기 위해, 아큐트로닉(Acutronic) 사의 AC1120 회전테이블 및 3축 관성센서를 포함하는 상용 제품(ST microelectronics의 LSM9DS0)을 이용하였다.

[0052] 일 실시예에 따른 3축 동시 검보정 시스템은 1축 회전테이블 및 고정구를 포함한다. 1축 회전테이블은 측정 대상인 센서의 측정 범위로 구동될 수 있고, 검보정에 요구되는 정밀도 및 정확도를 제공할 수 있는 수준이면 어느 것이나 무방하다. 일 실시예에 다른 고정구는 1축 회전테이블의 수평면에 부착되는 제1고정부, MEMS센서 및 회로부가 부착되는 제2고정부를 포함한다. MEMS 관성센서의 3축 중 2축(일 실시예에서의 Y', Z')이 포함되는 기

준면은 측정면으로 정의한다.

[0053] 제1고정부는 회전테이블의 수평면과 평행하고 제2고정부는 측정면과 평행하다. 회전테이블의 수평면과 측정면은 각도 ϕ로 경사지도록 형성된다. 일 실시예에서 각도 ϕ는 54.74° 이다. 제2고정구는 또한 MEMS 관성센서의 측정면에 수직인 1축(일 실시예에서의 X')을 중심으로 각도 Θ 만큼 MEMS 관성센서가 회전 배치도록 형성된다. 일 실시예에서 Θ는 45° 이다. 다르게 표현하면, 각도 Θ는 회전테이블의 회전축(일 실시예에서의 Z)이 측정면에 투영된 축을 Z"라고 하면 측정면 상에서 Z"와 Z'가 이루는 각도에 해당한다.

[0054] 도 5는 일반적인 MEMS 관성센서의 1축 검보정에 의해 측정된 각 축의 센서 특성을 나타낸다.

[0055] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 다축 MEMS 관성센서의 3축 동시 검보정 기구에 의해 측정된 각 축의 센서 특성을 나타낸다.

[0056] 도 5와 도 6은, 일반적인 1축 검보정과 일 실시예에 따른 3축 동시 검보정의 검보정 결과를 측정하여 비교한 것이다. 비교 실험에서 다축 MEMS 관성센서는 측정 범위 ±245 deg/sec에 대해 측정하였으며, 입력된 관성력과 출력을 선형함수로 근사하여 스케일팩터를 추출하였다. 1축 검보정의 경우 각 축의 스케일팩터는 109.98 lsb/dps, 111.38 lsb/dps 및 114.28 lsb/dps로, 3축 동시 검보정의 경우 각 축의 스케일펙터는 110.99 lsb/dps, 112.13 lsb/dps, 115.58 lsb/dps로 측정되었다. 1축 검보정의 결과가 맞다는 가정하에, 두 방식 간의 측정 오차를 수학식 14로 정의하고 비교한 결과를 표 1에 정리하였다.

수학식 14

[0057] $$Error\ (\%) = \left|\frac{Measured\ 1D\ SF - Meaured\ 3D\ SF}{Meaured\ 1D\ SF}\right| \times 100$$

표 1

[0058]

Test Method	Scale factor (LSB/dps)			Percentage Error		
	x-gyro	x-gyro	x-gyro	x-gyro	x-gyro	x-gyro
1-D Test	109.980	111.390	114.280	0.92%	0.67%	1.15%
3-D Test	110.990	112.140	115.590			

[0059] Z축을 제외하면 1 % 이내의 오차를 가져 본 발명의 3축 동시 검보정의 타당성을 확인할 수 있다. Z축은 오차가 1.15 %로 조금 크게 측정되었는데, 이는 MEMS 관성센서 자체의 오차, 패키징 과정에서의 오차, 혹은 고정구의 제작 오차 등에 의한 것으로 이해할 수 있다.

[0060] 먼저, 오차 요인을 추가 분석하기 위해 축간 결합에 의한 스케일팩터를 다음 수학식 15와 같이 정의하여 오차 특성을 평가하였다.

수학식 15

[0061] $$S_{i,j/k}(\%) = \frac{\sqrt{S_{ij}^2 + S_{ik}^2}}{S_{ii}} \times 100$$

[0062] 여기서, 앞 첨자는 측정이 이루어지는 주축(primary axis)을 가리키며, 두번째 첨자는 외력이 가해지는 축을 가리킨다. 예컨대, $S_{x,y/z}$는 X축에서의 측정 값에 Y축, Z축에 인가된 회전력이 미치는 민감도를 계산한 값을 의미한다. 앞서 검증실험 결과에 적용하면, X, Y 및 Z의 스케일팩터에 축간 결합이 미치는 영향은 1.75 %, 1.67 % 및 0.37 %로 계산되었다. 이를 수학식 16과 같이 주축의 스케일펙터의 최종값에 적용하면 표 2와 같이 정리된다.

수학식 16

[0063] $$S_{overll} = \sqrt{S_{ii}^2 + S_{ij}^2 + S_{ik}^2}$$

표 2

[0064]

Test Method	Scale factor (LSB/dps)			Percentage Error		
	x-gyro	x-gyro	x-gyro	x-gyro	x-gyro	x-gyro
1-D Test	110.990	111.140	114.281	0.89%	0.65%	1.13%
3-D Test	110.99	112.14	115.59			

[0065] 표 2의 오차 분석 결과를 앞서 표 1과 비교하면, 3축 동시 검보정에서 축간 결합이 미치는 영향은 0.02 % 수준으로 매우 낮은 것으로 파악된다.

[0066] 다음으로, 회전테이블과 MEMS 관성센서의 축과 원점이 완벽히 일치하지 않은데 따른 오차를 실험적으로 분석하였다.

[0067] 도 7은 일반적인 1축 검보정의 결과에 대한, 3축 동시 검보정 기구의 경사면 각도 오차에 따른 다축 MEMS 관성센서의 검보정 오차를 나타낸다.

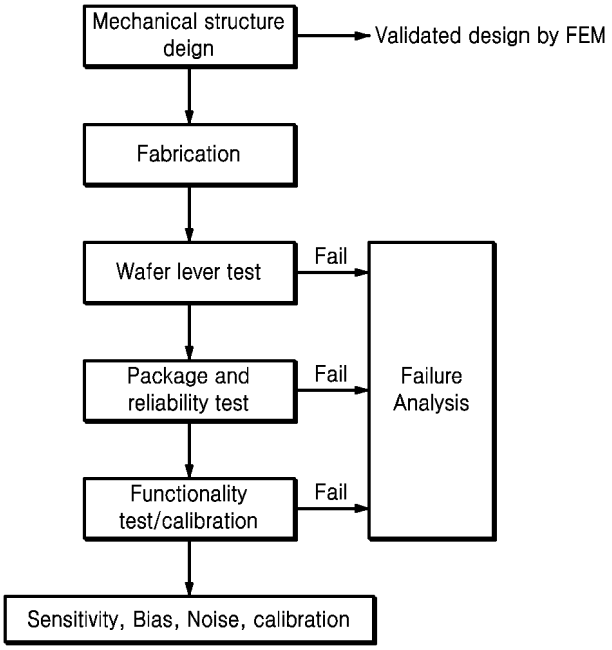
[0068] 도 7은 각도 ϕ가 설계 기준 값에서 벗어난 정도에 따른 스케일팩터의 오차를 측정하여 도시한다. 도 7을 참조하면, 각도 ϕ가 1도 벗어난 경우, Z축 방향 스케일팩터는 2.5 %, X축 방향 스케일팩터는 1.21 %의 오차를 보이는 것을 알 수 있다. 한편, 각도 Θ는 각도 ϕ에 비해 같은 오차가 발생하더라도 더 적은 정도의 영향을 주는 것으로 파악된다. 결론적으로, 고정구의 제작 및 설치 오차가 미치는 영향을 분석한 결과, 앞서 1축 검보정 결과와 3축 동시 검보정 결과에서 측정된 오차는 단지 비교실험에 적용된 고정구의 제작 및 설치 오차에 따른 것으로 이해할 수 있다. 즉, 적절히 교정 및 검증을 거친 고정구를 적용하면 1축 검보정과 3축 동시 검보정은 실질적으로 동일한 검보정 결과를 도출할 수 있다.

[0069] 고정구의 교정에는 마스터 다축 MEMS 관성센터가 사용될 수 있다. 고정구의 제1각도 및 제2각도는, 교정 완료된 마스터 3축 MEMS 관성센서를 고정구에 설치하여 얻어진 스케일팩터를 이용하여 예컨대 도7을 참조하여 각도를 교정하여 다시 확인한 후, 테스트 대상인 3축 MEMS 관성센서의 스케일팩터를 구하는 데 이용될 수 있다.

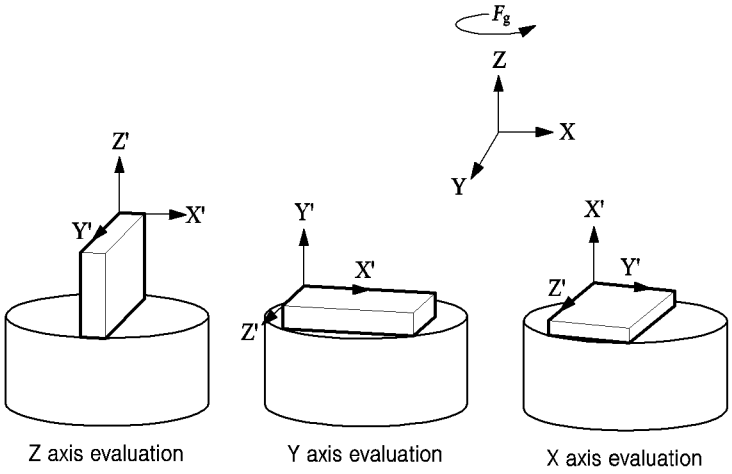
[0070] 이상의 설명은 본 실시예의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 실시예들은 본 실시예의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

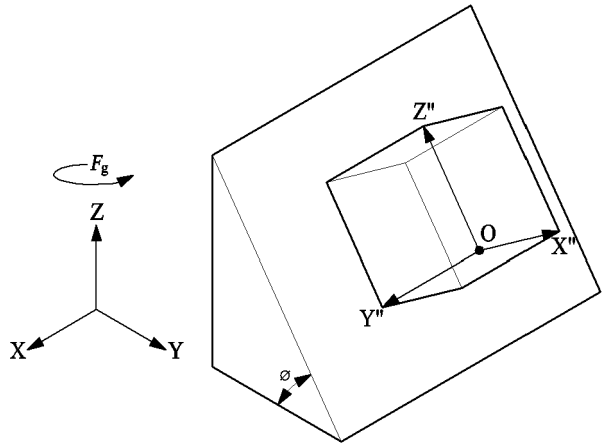
도면1


Mechanical structure deign
Validated design by FEM
Fabrication
Wafer lever test
Fail
Package and reliability test
Fail
Functionality test/calibration
Fail
Failure Analysis
Sensitivity, Bias, Noise, calibration

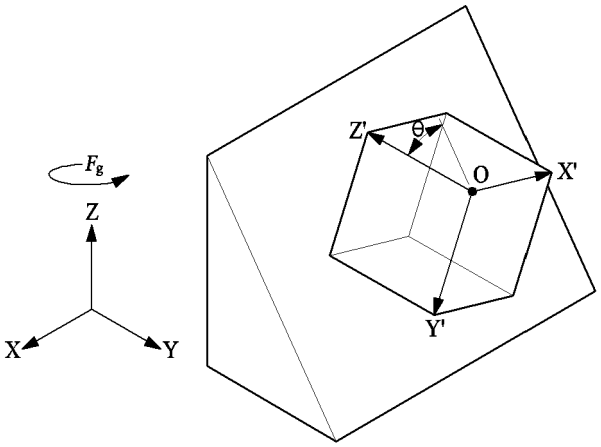
도면2


F_g
Z
X
Y
Z'
X'
Y'
Z axis evaluation
Y'
X'
Z'
Y axis evaluation
X'
Y'
Z'
X axis evaluation

도면3

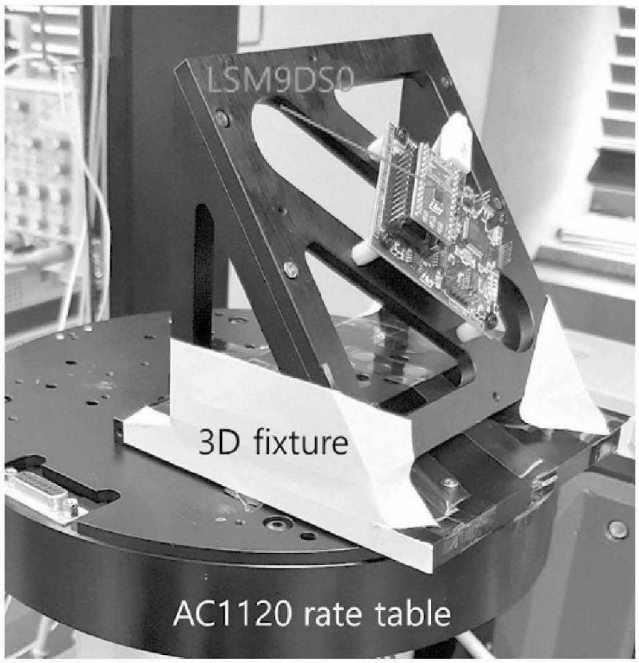


(a)

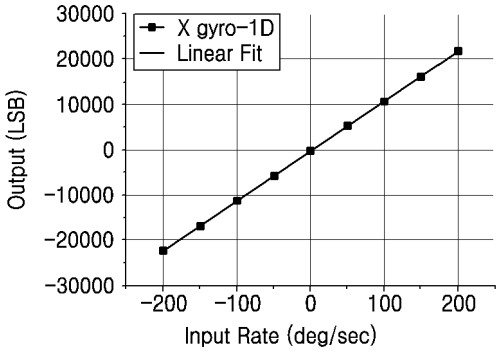


(b)

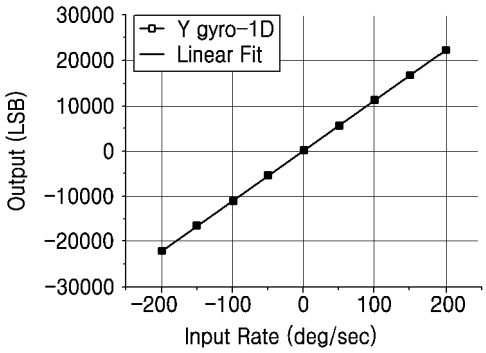
도면4



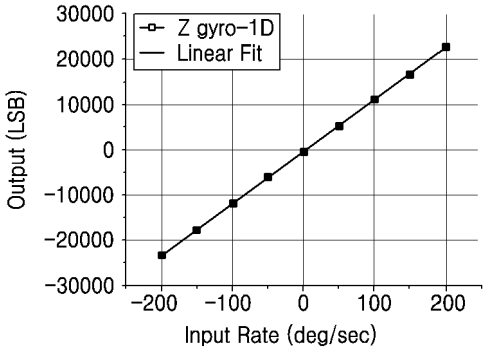
도면5


X gyro-1D
Linear Fit
Output (LSB)
Input Rate (deg/sec)
30000
20000
10000
0
-10000
-20000
-30000
-200
-100
0
100
200

(a)

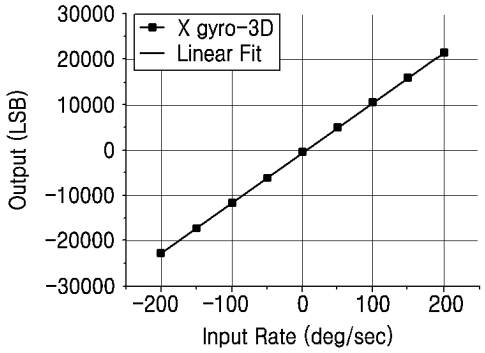

Y gyro-1D
Linear Fit
Output (LSB)
Input Rate (deg/sec)
30000
20000
10000
0
-10000
-20000
-30000
-200
-100
0
100
200

(b)

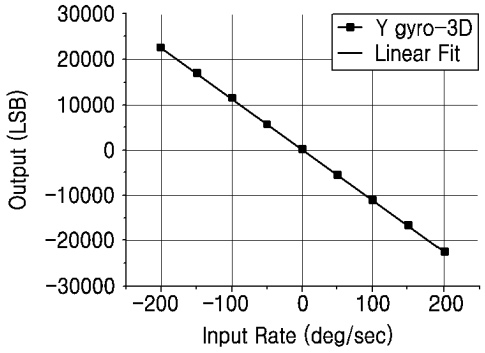

Z gyro-1D
Linear Fit
Output (LSB)
Input Rate (deg/sec)
30000
20000
10000
0
-10000
-20000
-30000
-200
-100
0
100
200

(c)

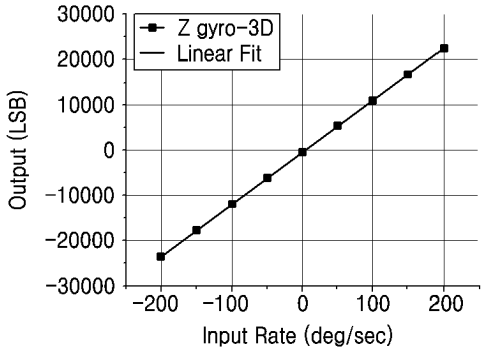
도면6


X gyro-3D
Linear Fit
Output (LSB)
Input Rate (deg/sec)
30000
20000
10000
0
-10000
-20000
-30000
-200
-100
0
100
200

(a)

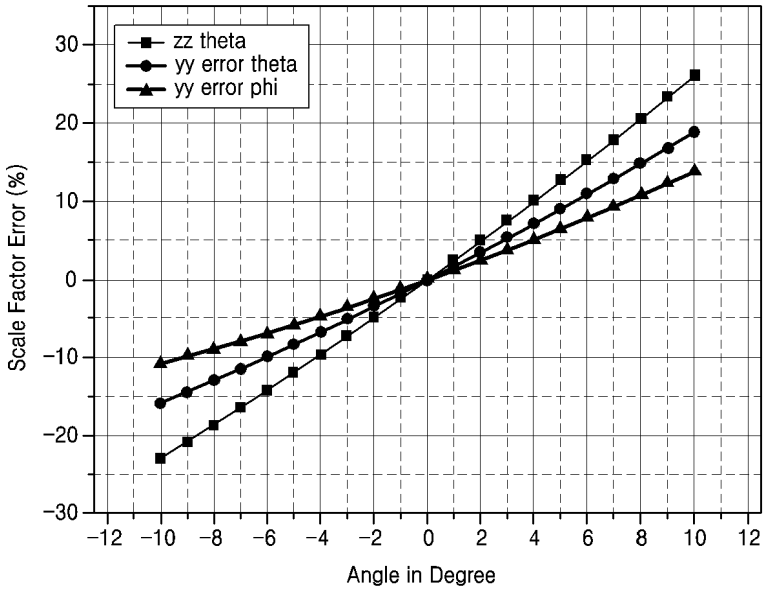

Y gyro-3D
Linear Fit
Output (LSB)
Input Rate (deg/sec)
30000
20000
10000
0
-10000
-20000
-30000
-200
-100
0
100
200

(b)


Z gyro-3D
Linear Fit
Output (LSB)
Input Rate (deg/sec)
30000
20000
10000
0
-10000
-20000
-30000
-200
-100
0
100
200

(c)

도면7


zz theta
yy error theta
yy error phi
Scale Factor Error (%)
Angle in Degree
30
20
10
0
−10
−20
−30
−12
−10
−8
−6
−4
−2
0
2
4
6
8
10
12