



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년03월22일

(11) 등록번호 10-2231159

(24) 등록일자 2021년03월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01P 15/18 (2006.01) G01C 21/16 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01P 15/18 (2013.01)

G01C 21/16 (2020.08)

(21) 출원번호 10-2019-0142982

(22) 출원일자 2019년11월08일

심사청구일자 2019년11월08일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020120029516 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

송진우

서울특별시 강남구 도곡로 306 래미안그레이트 105동 1201호

김웅주

충청남도 천안시 서북구 한들3로 100 백석마을아이파크아파트 103동 1201호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김현승

전체 청구항 수 : 총 13 항

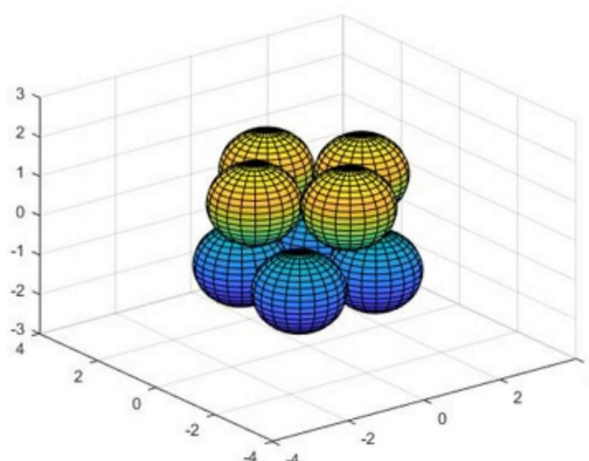
심사관 : 김창섭

(54) 발명의 명칭 중첩 관성 측정 유닛

(57) 요약

6개 이상의 단축 관성 센서를 포함하는 중첩 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU) 장치가 제공된다. 개시된 RIMU 장치의 단축 관성 센서는 각자의 방향 벡터 및 각자의 거리 벡터에 따라 배치되며, 각자의 방향 벡터 각각은 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계에서의 배향을 나타내고, 각자의 거리 벡터 각각은 케이스 프레임 좌표계에서의 위치를 나타내며, 각자의 방향 벡터는 RIMU 장치의 항법 성능 지표가 최소값을 갖기 위한 조건 하에서 RIMU 장치의 FDI 성능 지표가 최대값을 갖도록 정해진 것이고, 각자의 거리 벡터는 전술된 바와 같은 각자의 방향 벡터를 기반으로 RIMU 장치의 레버 암 효과(lever arm effect) 관련 성능 지표를 최소화하도록 정해진 것이다.

대표도 - 도3a



(72) 발명자

김용훈

서울특별시 광진구 광나루로15길 61 601호

최민준

경기도 수원시 영통구 덕영대로1484번길 21 102동
303호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711093070
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신기술인력양성(R&D)
연구과제명	지능형 비행로봇 융합기술 연구
기 여 율	50/100
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2019.03.01 ~ 2019.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415155692
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술진흥원
연구사업명	산업전문인력역량강화(산업부)
연구과제명	사업용 무인비행장치 전문인력 양성
기 여 율	50/100
과제수행기관명	한국드론산업진흥협회
연구기간	2019.03.01 ~ 2020.02.29

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

중첩 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU) 장치에 있어서,

n 개의 단축 관성 센서를 포함하되, n 은 6 이상인 정수이고,

상기 n 개의 단축 관성 센서는 각자의 방향 벡터 및 각자의 거리 벡터에 따라 배치되되, 상기 각자의 방향 벡터 각각은 상기 RIMU 장치의 케이스 프레임(case frame) 좌표계에서의 배향(orientation)을 나타내고, 상기 각자의 거리 벡터 각각은 상기 케이스 프레임 좌표계에서의 위치를 나타내며,

상기 각자의 방향 벡터는 상기 RIMU 장치의 항법 성능 지표가 최소값을 갖기 위한 조건 하에서 상기 RIMU 장치의 고장 검출 및 배제(Fault Detection and Isolation: FDI) 성능 지표가 최대값을 갖도록 정해진 것이되, 상기 항법 성능 지표는 상기 n 개의 단축 관성 센서의 측정에 기반한 상기 RIMU 장치의 가속도 또는 각속도의 추정치의 불확실성을 나타내고, 상기 FDI 성능 지표는 상기 n 개의 단축 관성 센서 각각에 대한 고장 감도 중 최소값을 나타내며,

상기 각자의 거리 벡터는 상기 각자의 방향 벡터를 기반으로 상기 RIMU 장치의 레버 암 효과(lever arm effect) 관련 성능 지표를 최소화하도록 정해진 것이되, 상기 레버 암 효과 관련 성능 지표는 상기 n 개의 단축 관성 센서의 상기 배치에 의해 상기 추정에 야기되는 레버 암 오차의 섭동의 정도를 나타내는,

RIMU 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 섭동의 정도는 상기 레버 암 오차의 섭동 편차 벡터의 크기를 나타내되, 상기 섭동 편차 벡터는 상기 레버 암 오차의 표현식에서 상기 케이스 프레임 좌표계의 직교하는 3개의 축 상에서의 상기 RIMU 장치의 각속도 성분 및 각가속도 성분 중의 어느 성분에도 의존하는 스칼라 변수를 특정 값으로 대체한 결과이되, 상기 특정 값은 상기 스칼라 변수가 의존하는 상기 성분을 대응하는 분산 값을 갖는 랜덤 변수로 취급하고 상기 스칼라 변수도 랜덤 변수로 취급하여 상기 대응하는 분산 값에 따라 상기 스칼라 변수의 분산 값으로서 획득된 값인,

RIMU 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 n 개의 단축 관성 센서는 상기 케이스 프레임 좌표계의 원점에 상기 RIMU 장치의 무게 중심이 있도록 위치되되, 상기 n 개의 단축 관성 센서 중에서 상기 원점이 아닌 데에 위치된 단축 관성 센서 각각의 거리 벡터와 방향 벡터는 평행한,

RIMU 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

n 이 짝수인 경우, 상기 각자의 거리 벡터는 상기 각자의 방향 벡터를 기반으로, 상기 n 개의 단축 관성 센서 서로 번갈아 동일 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍 및 반대 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍을 갖되, 상기 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 동일한 거리만큼 떨어져 배치된 위치를 나타내도록 정해진 것인,

RIMU 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 n 개의 단축 관성 센서에 대해, 상기 각자의 방향 벡터 각각은 상기 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 상기 원점에 꼭지점이 있는 가설적인 원추의 밑면의 원주 상의 복수의 점 중 대응하는 것을 향하는 단위 벡터로 정해지되, 상기 복수의 점은 상기 원주 상에 동일한 중심각의 호를 정의하는,

RIMU 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

n 이 홀수인 경우, 상기 n 개의 단축 관성 센서 중 하나는 상기 케이스 프레임 좌표계의 원점에 위치되고, 상기 n 개의 단축 관성 센서 중 나머지 단축 관성 센서에 대해, 상기 각자의 거리 벡터는 상기 각자의 방향 벡터를 기반으로, 상기 나머지 단축 관성 센서가 서로 번갈아 동일 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍 및 반대 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍을 갖되, 상기 원점으로부터 동일한 거리만큼 떨어져 배치된 위치를 나타내도록 정해진 것인,

RIMU 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 나머지 단축 관성 센서에 대해, 상기 각자의 방향 벡터 각각은 상기 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 상기 원점에 꼭지점이 있는 가설적인 원추의 밑면의 원주 상의 복수의 점 중 대응하는 것을 향하는 단위 벡터로 정해지되, 상기 복수의 점은 상기 원주 상에 동일한 중심각의 호를 정의하고,

상기 하나의 단축 관성 센서의 방향 벡터는 상기 원점으로부터 상기 밑면의 중심을 향하는 단위 벡터로 정해진,

RIMU 장치.

청구항 8

중첩 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU) 장치에 있어서,

n 개의 단축 관성 센서와,

상기 n 개의 단축 관성 센서를 하우징하는 케이스를 포함하되, n 은 6 이상인 짝수이고,

상기 n 개의 단축 관성 센서는 각자의 방향 벡터 및 각자의 거리 벡터에 따라 상기 케이스 내에 배치되되, 상기 각자의 방향 벡터 각각은 상기 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계에서의 배향을 나타내고, 상기 각자의 거리 벡터 각각은 상기 케이스 프레임 좌표계에서의 위치를 나타내며,

상기 n 개의 단축 관성 센서에 대해, 상기 각자의 방향 벡터 각각은 상기 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 상기 원점에 꼭지점이 있는 가설적인 원추의 밑면의 원주 상의 복수의 점 중 대응하는 것을 향하는 단위 벡터로 정해지되, 상기 복수의 점은 상기 원주 상에 동일한 중심각의 호를 정의하고, 상기 각자의 거리 벡터는 상기 각자의 방향 벡터를 기반으로, 상기 n 개의 단축 관성 센서가 서로 번갈아 동일 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍 및 반대 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍을 갖되, 상기 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 동일한 거리만큼 떨어져 배치된 위치를 나타내도록 정해진,

RIMU 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 n 개의 단축 관성 센서에 대해, 상기 각자의 방향 벡터는

$$\mathbf{h}_i = [\cos(i\beta) \sin(\alpha) \quad \sin(i\beta) \sin(\alpha) \quad \cos(\alpha)]^T$$

에 따라 정해지되, i 는 1 이상이고 n 이하인 정수이고, $\alpha = \cos^{-1}(\sqrt{1/3})$ 이며,

$\beta = 360^\circ/n$ 이고, 상기 각자의 거리 벡터는

$$\mathbf{d}_i = (-1)^{i+1} k \mathbf{h}_i$$

에 따라 정해지되, k 는 스칼라 값인,

RIMU 장치.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 n 개의 단축 관성 센서와 커플링되어 상기 n 개의 단축 관성 센서 각각의 측정 값을 처리하는 머신 관독가능 명령어를 실행하는 프로세서를 더 포함하되, 상기 프로세서는 상기 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 상기 n 개의 단축 관성 센서보다는 가깝게 상기 케이스 내에 배치된,

RIMU 장치.

청구항 11

중첩 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU) 장치에 있어서,

n 개의 단축 관성 센서와,

상기 n 개의 단축 관성 센서를 하우징하는 케이스를 포함하되, n 은 7 이상인 홀수이고,

상기 n 개의 단축 관성 센서는 각자의 방향 벡터 및 각자의 거리 벡터에 따라 상기 케이스 내에 배치되되, 상기 각자의 방향 벡터 각각은 상기 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계에서의 배향을 나타내고, 상기 각자의 거리 벡터 각각은 상기 케이스 프레임 좌표계에서의 위치를 나타내며,

상기 n 개의 단축 관성 센서 중 하나를 제외한 나머지 단축 관성 센서에 대해, 상기 각자의 방향 벡터 각각은 상기 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 상기 원점에 꼭지점이 있는 가설적인 원추의 밑면의 원주 상의 복수의 점 중 대응하는 것을 향하는 단위 벡터로 정해지되, 상기 복수의 점은 상기 원주 상에 동일한 중심각의 호를 정의하고, 상기 각자의 거리 벡터는 상기 각자의 방향 벡터를 기반으로, 상기 나머지 단축 관성 센서가 서로 번갈아 동일 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍 및 반대 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍을 갖되, 상기 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 동일한 거리만큼 떨어져 배치된 위치를 나타내도록 정해진,

RIMU 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 n 개의 단축 관성 센서 중 하나를 제외한 나머지 단축 관성 센서에 대해, 상기 각자의 방향 벡터는

$$\mathbf{h}_i = [\cos(i\beta) \sin(\alpha) \quad \sin(i\beta) \sin(\alpha) \quad \cos(\alpha)]^T$$

에 따라 정해지되, i 는 1 이상이고 $n-1$ 이하인 정수이고, $\alpha = \cos^{-1}(\sqrt{1/3})$ 이며,

$$\beta = 360^\circ / (n - 1)$$

이고, 상기 각자의 거리 벡터는

$$\mathbf{d}_i = (-1)^{i+1} k \mathbf{h}_i$$

에 따라 정해지되, k 는 스칼라 값이며,

상기 하나의 단축 관성 센서의 거리 벡터와 방향 벡터는 각각

$$\mathbf{d}_n = [0 \quad 0 \quad 0]^T$$

및

$$\mathbf{h}_n = [0 \quad 0 \quad 1]^T$$

에 따라 정해진,

RIMU 장치.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 n 개의 단축 관성 센서와 커플링되어 상기 n 개의 단축 관성 센서 각각의 측정 값을 처리하는 머신 관독가능 명령어를 실행하는 프로세서를 더 포함하되, 상기 프로세서는 상기 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 상기 나머지 단축 관성 센서보다는 가깝게, 그리고 상기 하나의 단축 관성 센서보다는 멀게 상기 케이스 내에 배치된,

RIMU 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 중첩 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU)에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로, 6개 이상의 단축 관성 센서가 최적으로 배치된 RIMU 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근에 센서 시스템에 대한 연구가 점점 더 활발해지고 있으며, 나아가 무인/자율 주행체(가령, 로봇, 자동차, 드론 등)에 대한 관심이 높아지면서 주행체에 요구되는 관성 측정 유닛(Inertial Measurement Unit: IMU)과 같은 센서를 개선하려는 노력이 이어지고 있다. 특히, 센서 시스템 내에 여러 개의 센서가 있으면 그 시스템은 더 나은 측정 결과를 낼 수 있으므로, 미국 특허 출원 공개 제2009/0013783호에 개시된 바와 같이 자이로스코프(gyroscope)나 가속도계(accelerometer) 여러 개를 기판에 함께 장착한 센서 배치가 흔히 이용되고 있다. 여분의 센서가 있는 센서 시스템(가령, 중첩 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU))은 정확한 측정이 가능하고, 센서 고장에 강인하다는 이점이 있다. 그런데, 종래의 중첩 센서 시스템은 주로 군수 분야나 항공 분야와 같이 고성능이 요구되는 항법 시스템에서의 이용을 위해 구현되었기에, 그러한 시스템 내에서의 센서 배치를 그대로 RIMU에 적용하는 것은 구현가능성의 측면에서도, 또 비용 측면에서도 곤란하다. 그런 까닭에, RIMU 내에 여러 센서를 단순히 동일한 형태로 배치하는 사례가 대부분이었다. 근래에 중첩 센서 시스템에서 특정한 시스템 성능을 최적화하는 방식으로 센서를 배치하는 기법에 대한 연구가 수행되었으나, 다양한 성능 지표의 관점에서 더욱 우수한 센서 배치 기법이 여전히 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 개선된 중첩 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU) 장치가 본 문서에 개시된다.

과제의 해결 수단

[0004] 적어도 하나의 실시예에 따르면, 중첩 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU) 장치는 n 개의 단축 관성 센서를 포함하되, n 은 6 이상인 정수이고, 상기 n 개의 단축 관성 센서는 각자의 방향 벡터 및 각자의 거리 벡터에 따라 배치되되, 상기 각자의 방향 벡터 각각은 상기 RIMU 장치의 케이스 프레임(case frame) 좌표계에서의 배향(orientation)을 나타내고, 상기 각자의 거리 벡터 각각은 상기 케이스 프레임 좌표계에서의 위치를 나타내며, 상기 각자의 방향 벡터는 상기 RIMU 장치의 항법 성능 지표가 최소값을 갖기 위한 조건 하에서 상기 RIMU 장치의 고장 검출 및 배제(Fault Detection and Isolation: FDI) 성능 지표가 최대값을 갖도록 정해진 것이되, 상기 항법 성능 지표는 상기 n 개의 단축 관성 센서의 측정에 기반한 상기 RIMU 장치의 가속도 또는 각속도의 추정의 불확실성을 나타내고, 상기 FDI 성능 지표는 상기 n 개의 단축 관성 센서 각각에 대한 고장 감도 중 최소값을 나타내며, 상기 각자의 거리 벡터는 상기 각자의 방향 벡터를 기반으로 상기 RIMU 장치의 레버 암 효과(lever arm effect) 관련 성능 지표를 최소화하도록 정해진 것이되, 상기 레버 암 효과 관련 성능 지표는 상기 n 개의 단축 관성 센서의 상기 배치에 의해 상기 추정에 야기되는 레버 암 오차의 섭동의 정도를 나타낸다.

[0005] 적어도 하나의 실시예에 따르면, 중첩 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU) 장치는 n 개의 단축 관성 센서를 포함하되, n 은 6 이상인 짝수이고, 상기 n 개의 단축 관성 센서는 각자의 방향 벡터 및 각자의 거리 벡터에 따라 배치되되, 상기 각자의 방향 벡터 각각은 상기 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계에서의 배향을 나타내고, 상기 각자의 거리 벡터 각각은 상기 케이스 프레임 좌표계에서의 위치를 나타내며, 상기 n 개의 단축 관성 센서에 대해, 상기 각자의 방향 벡터는

$$\mathbf{h}_i = [\cos(i\beta) \sin(\alpha) \quad \sin(i\beta) \sin(\alpha) \quad \cos(\alpha)]^T \quad \text{에 따라 정해지되, } i \text{는 } 1 \text{ 이상이고 } n \text{ 이}$$

하인 정수이고, $\alpha = \cos^{-1}(\sqrt{1/3})$ 이며, $\beta = 360^\circ/n$ 이고, 상기 각자의 거리 벡터는

$$\mathbf{d}_i = (-1)^{i+1} k \mathbf{h}_i \quad \text{에 따라 정해지되, } k \text{는 스칼라 값이다.}$$

[0006] 적어도 하나의 실시예에 따르면, 중첩 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU) 장치는 n 개의 단축 관성 센서를 포함하되, n 은 7 이상인 홀수이고, 상기 n 개의 단축 관성 센서는 각자의 방향 벡터 및 각자의 거리 벡터에 따라 배치되되, 상기 각자의 방향 벡터 각각은 상기 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계에서의 배향을 나타내고, 상기 각자의 거리 벡터 각각은 상기 케이스 프레임 좌표계에서의 위치를 나타내며, 상기 n 개의 단축 관성 센서 중 하나를 제외한 나머지 단축 관성 센서에 대해, 상기 각자의 방향 벡터는

$$\mathbf{h}_i = [\cos(i\beta) \sin(\alpha) \quad \sin(i\beta) \sin(\alpha) \quad \cos(\alpha)]^T \quad \text{에 따라 정해지되, } i \text{는 } 1 \text{ 이상이고 } n-1$$

이하인 정수이고, $\alpha = \cos^{-1}(\sqrt{1/3})$ 이며, $\beta = 360^\circ/(n-1)$ 이고, 상기 각자의 거리 벡터는

$$\mathbf{d}_i = (-1)^{i+1} k \mathbf{h}_i \quad \text{에 따라 정해지되, } k \text{는 스칼라 값이며, 상기 하나의 단축 관성 센서의 거리 벡터와 방}$$

향 벡터는 각각 $\mathbf{d}_n = [0 \quad 0 \quad 0]^T$ 및 $\mathbf{h}_n = [0 \quad 0 \quad 1]^T$ 에 따라 정해진다.

[0007] 전술된 개요는 상세한 설명에서 추가로 후술되는 몇몇 양상을 단순화된 형태로 소개하기 위해 제공된다. 이 개요는 청구된 주제(subject matter)의 중요 특징 또는 필수적 특징을 식별하도록 의도되지 않고, 청구된 주제의 범위를 정하는 데 사용되도록 의도되지도 않는다. 나아가, 청구된 주제는 본 명세서에서 논의되는 임의의 또는 모든 이점을 제공하는 구현에 한정되지 않는다.

발명의 효과

[0008] 본 발명의 실시예에 따르면, 항법(navigation) 성능, 고장 검출 및 배제(Fault Detection and Isolation: FDI) 성능 및 레버 암 효과(lever arm effect)에 관련된 성능의 관점에서 향상된 중첩 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU)이 제공된다.

[0009] 본 발명의 실시예에 따르면, RIMU 내의 센서와 RIMU의 무게 중심 사이의 공간에 프로세서와 같은 유닛이 수용되더라도 전술된 성능의 관점에서 우수한 센서 배치가 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 본 발명의 실시예에 따라 RIMU에 포함되는 단축 관성 센서의 방향 벡터와 거리 벡터를 설명하기 위한 도면이다.

도 2a 및 도 2b는 본 발명의 실시예에 따라 RIMU 내에 단축 관성 센서를 배치하는 데에 이용가능한 가설적인 단일 원추를 설명하기 위한 도면이다.

도 3a 및 도 3b는 본 발명의 실시예에 따라 각각 8개 및 9개의 관성 센서를 RIMU 내에 배치하는 것을 도식적으로 보여준다.

도 4a 및 도 4b는 본 발명의 실시예에 따라 각각 8개 및 9개의 관성 센서가 배치된 RIMU에서 각 센서의 방향 벡터와 거리 벡터를 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 이하에서는, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 실시예를 가질 수 있고, 몇몇 실시예가 본 명세서에 개시된다. 그러나, 이는 본 발명에 대한 한정이지 아니라 예시로서 제공되며, 본 발명의 사상 및 범주에 속하는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 망라하는 것으로 이해되어야 한다. 개시된 실시예에 따른 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 다음의 상세한 설명에서 특정한 세부사항이 제공되는데, 몇몇 실시예는 이들 세부사항 중 일부 또는 전부가 없더라도 실시될 수 있다. 또한, 본 발명의 다양한 양상을 불필요하게 모호하게 하지 않도록 공지 기술의 구체적인 설명은 생략될 수 있다.

[0012] 후술되는 용어는 단지 특정 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 한정적 의미로 고려되고자 의도된 것이 아니다. 단수 형태의 표현은 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 복수 형태의 의미를 포함한다. 또한, 이 문서에서, "포함하다" 또는 "가지다"와 같은 용어는 어떤 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 정보 또는 이들의 조합이 존재함을 나타내려는 것이며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 정보 또는 이들의 조합의 존재 또는 가능성을 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0013] 아래에서, 본 발명의 실시예에 따라, 6개 이상의 단축 관성 센서(각각은 가속도계(accelerometer)와 같은 가속도 센서 또는 자이로스코프(gyroscope)와 같은 각속도 센서일 수 있음)를 포함한 중복 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU)에서의 최적의 관성 센서 배치를 위한 기법을 상세히 설명한다.

[0014] 설명의 편의를 위해, 도 1에 도시된 바와 같이, RIMU에 포함된 각각의 단축 관성 센서의 방향 벡터와 거리 벡터는 RIMU의 케이스 프레임(case frame)으로서 주어진 3차원 직교 좌표계에서 열 벡터로 표현되는데, i 번째 관성 센서의 방향 벡터 및 거리 벡터는 각각 \mathbf{h}_i 및 \mathbf{d}_i 로 표기된다. 각각의 관성 센서에 대해, 방향 벡터는 해당 관성 센서의 배향(orientation)을 나타내도록 직교 좌표계의 3개의 축 각각에 대한 그 관성 센서의 방향 코사인을 원소로 가지며, 그것의 크기 $|\mathbf{h}_i|$ 는 1이다. 또한, 각각의 관성 센서에 대해, 거리 벡터는 해당 관성 센서의 (가령, 무게 중심의) 위치를 나타내며, 그것의 크기 $|\mathbf{d}_i|$ 는 그 관성 센서가 원점으로부터 떨어진 거리이다.

[0015] RIMU 내의 각각의 단축 관성 센서의 측정 모델은 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 1

$$\mathbf{z}_i(k) = \mathbf{h}_i^T \mathbf{x}(k) + \mathbf{e}_i(k)$$

[0016]

[0017] 여기서, 주어진 시간 k 에 대해, \mathbf{z}_i 는 i 번째 단축 관성 센서의 측정 값, \mathbf{h}_i 는 i 번째 단축 관성 센서의 방향 벡터, \mathbf{x} 는 추정될 3가 해(triad solution) 벡터(이는 RIMU 케이스 프레임 좌표계에서의 가속도 또는 각속도를 나타내는 3차원 파라미터 벡터임), 그리고 \mathbf{e}_i 는 i 번째 단축 관성 센서의 측정 잡음이다.

[0018] RIMU에 포함된 단축 관성 센서의 개수를 n 이라고 표기하고, $\mathbf{z}=[z_1 \ z_2 \ \dots \ z_n]^T$, $\mathbf{H}=[h_1 \ h_2 \ \dots \ h_n]^T$ 및 $\mathbf{e}=[e_1 \ e_2 \ \dots \ e_n]^T$ 이라고 한다면, 측정 모델은 다음과 같이 나타내어질 수도 있다.

수학식 2

$$\mathbf{z}(k) = \mathbf{H}\mathbf{x}(k) + \mathbf{e}(k)$$

[0019]

[0020] 이 식의 \mathbf{H} 는 흔히 측정 행렬(measurement matrix)로 칭해진다. 측정 행렬은, 아래에서 상세히 논의되는 바와 같이, RIMU 구성의 성능을 판별하는 데에 유용한 핵심 인자로서, RIMU의 몇 가지 성능 지표(Figure Of Merit: FOM)를 정의하는 데에 사용될 수 있다.

[0021] 본 발명의 실시예에 따른 관성 센서 배치 기법을 요약하면, 다음과 같이, RIMU의 주요 성능인 항법(navigation) 성능, 고장 검출 및 배제(Fault Detection and Isolation: FDI) 성능 및 레버 암 효과(lever arm effect)에 관련된 성능을 고려하여 RIMU의 관성 센서들을 배치하는 것이라고 할 수 있다.

[0022] - 기준 1: RIMU의 원천적 성능인 항법 성능을 최적으로 만족하는 조건 중에서 FDI 성능을 최적화하는 방향 벡터를 결정한다.

[0023] - 기준 2: 위와 같이 결정된 방향 벡터를 기반으로 레버 암 효과로 인한 오차를 최소화하는 거리 벡터를 결정한다.

[0024] 실시예에서, n 개(단, n 은 6 이상의 정수임)의 단축 관성 센서로 구성된 RIMU의 항법 성능을 나타내는 지표 FOM_{nav} 로서 3가 해의 추정 신뢰도(다른 관점에서 말하면, 그러한 추정의 불확실성)의 어떤 척도가 사용될 수 있다. 예를 들어, 최소 자승(least square) 방식에 따라 3가 해(즉, 파라미터 벡터)가 다음 식과 같이 추정되는 경우를 고려하자.

수학식 3

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{H}^T\mathbf{H})^{-1}\mathbf{H}^T\mathbf{z}$$

[0025]

[0026] 그러면, 3가 해의 실제 값 \mathbf{x} 및 추정된 3가 해 $\hat{\mathbf{x}}$ 간의 차이는 수학식 4와 같이 추정 오차 $\boldsymbol{\varepsilon}$ 로 표현될 수 있고, 이 오차의 공분산(covariance) $\mathbf{P}_{\boldsymbol{\varepsilon}}$ 는 수학식 5와 같이 주어지는데, 항법 성능의 지표 FOM_{nav} 는 3가 해 추정의 불확실성을 나타내도록(즉, 더 작은 값을 가질수록 더 양호한 항법 성능을 나타내도록) 오차 공분산 행렬 $\mathbf{P}_{\boldsymbol{\varepsilon}}$ 의 행렬식(determinant) 또는 트레이스(trace)에 기반하여 정의될 수 있다.

수학식 4

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}$$

[0027]

수학식 5

$$\mathbf{P}_{\boldsymbol{\varepsilon}} = E(\boldsymbol{\varepsilon}\boldsymbol{\varepsilon}^T)$$

[0028]

[0029] 일반적으로, RIMU의 각각의 단축 관성 센서는 (가령, 가속도계 또는 자이로스코프 등 동일한 종류의 센서로서) 동일한 잡음 특성을 갖는다고 취급될 수 있는바, 예컨대, RIMU의 각각의 단축 관성 센서의 측정 잡음(e_i)이 동일한 표준 편차 σ 의 정규 분포를 갖는 백색 잡음인 경우, 오차 공분산 행렬은 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 6

[0030]
$$\mathbf{P}_\varepsilon = \sigma^2 (\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1}$$

[0031] 그러면, 항법 성능을 나타내는 지표 FOM_{nav} 는 수학식 7과 같이 $(\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1}$ 의 행렬식의 제곱근이라고 정의될 수 있다.

수학식 7

[0032]
$$FOM_{nav} = \sqrt{\det((\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1})}$$

[0033] 위 수학식에 따른 최적의 FOM_{nav} 을 위한 필요 및 충분 조건은 다음의 수학식과 같이 정의된 성능 지표에 대해서도 동일하다.

수학식 8

[0034]
$$FOM_{nav} = \text{Tr}((\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1})$$

[0035] RIMU의 항법 성능을 최적화한다는 것은 가능한 한 지표 FOM_{nav} 가 작은 값을 갖도록 RIMU 내의 관성 센서들을 배치한다는 것인데, 주어진 n 에 대하여 FOM_{nav} 의 최소값(이는 이하에서 $FOM_{nav,opt}$ 로 표기될 수 있음)은 다음 식이 만족되는 경우에 획득된다고 알려져 있다.

수학식 9

[0036]
$$(\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1} = \frac{3}{n} \mathbf{I}_{3 \times 3}$$

[0037] 여기에서 $\mathbf{I}_{3 \times 3}$ 은 3×3 항등 행렬(identity matrix)이다. 수학식 9는 다음과 같이 달리 표현될 수도 있다.

수학식 10

[0038]
$$(\mathbf{H}^T \mathbf{H}) = \sum_{k=1}^n \mathbf{h}_k \mathbf{h}_k^T = \frac{n}{3} \mathbf{I}_{3 \times 3}$$

[0039] 따라서, $FOM_{nav,opt}$ 는 다음과 같다.

수학식 11

$$FOM_{nav,opt} = \frac{9}{n}$$

[0040]

[0041] 한편, 어떤 센서 시스템의 FDI 성능은 그 시스템 내의 센서에 발생한 고장을 감지하고 배제함으로써 오류 없는 측정 값을 출력할 수 있는 성능을 의미한다. 예를 들어, 패리티 공간 기반의 FDI 기법에 따르면, 각각의 관성 센서에 패리티 식이 주어지는데, 이 패리티 식은 정상 모드인지, 그리고 그렇지 않다면 어느 관성 센서에 고장이 발생하였는지에 따라 상이한 확률 특성을 갖는 신호를 산출한다. 따라서, 센서 고장의 척도로서 다음이 고려될 수 있다: 정상 모드에서의 분산 대 고장 발생 시의 신호의 크기의 비가 클수록 큰 값을 갖는 고장 거리. 그러면, 어떤 관성 센서의 고장에 민감한 정도(이하에서, 그 센서에 대한 "고장 감도"로 지칭될 수 있음)는 그 센서에 발생한 고장을 나타내는 고장 거리가 다른 센서에 발생한 고장을 나타내는 고장 거리 중 가장 큰 것에 비해 얼마나 큰지(가령, 후자에 대한 전자의 비)를 의미한다고 볼 수 있다. 따라서, 실시예에서, RIMU의 FDI 성능을 나타내는 지표 FOM_{FDI} 는 RIMU의 가장 열악한 센서 고장 감도를 나타내도록(다시 말해, RIMU 내의 각각의 관성 센서에 대한 고장 감도 중 최소인 것을 나타내도록) 정의될 수 있다. 이 성능 지표가 더 큰 값을 가질수록(즉, RIMU의 최소 센서 고장 감도가 클수록) FDI 성능은 더 양호하다고 볼 수 있다. 다음의 수학식은 그러한 성능 지표의 예를 보여준다.

수학식 12

$$FOM_{FDI} = \min_i \left(\frac{1}{\max_j \cos^2(\varphi_{ij})} \right), \quad j \neq i$$

[0042]

[0043] 여기서 φ_{ij} 는 RIMU 내의 i번째 관성 센서 및 j번째 관성 센서 간의 배향 차이이다. 이 예시적인 FOM_{FDI} 대신에, 다음의 수학식과 같이 방향 벡터로 표현된 FDI 성능 지표가 사용될 수도 있다.

수학식 13

$$FOM_{FDI} = \min_i \left(\frac{1}{\max_j \left| \frac{h_i \cdot h_j}{|h_i||h_j|} \right|} \right), \quad j \neq i$$

[0044]

[0045] 결국, 실시예에서, 기준 1은 다음과 같이 표현될 수 있다: 수학식 11로 표현된 제약 하에서 수학식 12(또는 수학식 13)를 최대화하는 방향 벡터를 결정한다.

[0046] 한편, 전술된 측정 모델은 일반적으로 케이스 프레임이 주어진 플랫폼의 무게 중심에 센서가 배치된다는 가정 하에 사용된다. 그런데, 실시예에 따르면 RIMU에 많은 개수($n \geq 6$)의 센서가 포함되므로, RIMU의 무게 중심(가령, 아래의 설명에서와 같이, RIMU의 케이스 프레임 좌표계의 원점)이 아닌 데에 위치한 가속도 센서가

RIMU의 회전으로 인해 겪는 가속도에 기인하는 레버 암 효과가 고려될 필요가 있다. 따라서, 실시예에서, 레버 암 효과로 RIMU의 3가 가속도의 추정에 야기되는 오차(이하에서 "레버 암 오차"로 지칭될 수 있음)를 감안하여 RIMU가 구성될 수 있다. 다음 수학적식은 레버 암 오차 항목을 포함한 가속도 측정 모델을 보여준다.

수학적식 14

$$\mathbf{z}_i = \mathbf{h}_i^T (\mathbf{a}_s + \mathbf{g}_s) + \mathbf{h}_i^T \{(\mathbf{w}_s \times)^2 - (\dot{\mathbf{w}}_s \times)\} \mathbf{d}_i$$

여기서 \mathbf{z}_i 는 i 번째 가속도 센서의 측정 값이고, \mathbf{h}_i^T 는 측정 행렬 \mathbf{H} 의 i 번째 행 벡터이며, \mathbf{d}_i 는 i 번째 센서의 거리 벡터이고, \mathbf{a}_s 는 RIMU의 가속도 벡터이며, \mathbf{g}_s 는 중력 가속도 벡터이다. 또한, RIMU의 각속도 $\mathbf{w}_s = [w_x \ w_y \ w_z]^T$ (여기서 w_x , w_y 및 w_z 는 각각 RIMU의 케이스 프레임 좌표계의 x 축, y 축 및 z 축 상의 각속도 성분임)에 대해, $(\mathbf{w}_s \times)$ 는 다음 수학적식과 같이 정의된 왜대칭 행렬(skew-symmetric matrix)이다.

수학적식 15

$$(\mathbf{w}_s \times) = \begin{pmatrix} 0 & -w_z & w_y \\ w_z & 0 & -w_x \\ -w_y & w_x & 0 \end{pmatrix}$$

그러면, $(\mathbf{w}_s \times)^2$ 및 $(\dot{\mathbf{w}}_s \times)$ 는 각각 수학적식 16 및 수학적식 17에 따라 주어진다.

수학적식 16

$$(\mathbf{w}_s \times)^2 = \begin{pmatrix} -(w_y^2 + w_z^2) & w_x w_y & w_x w_z \\ w_x w_y & -(w_y^2 + w_z^2) & w_y w_z \\ w_x w_z & w_y w_z & -(w_y^2 + w_z^2) \end{pmatrix}$$

수학적식 17

$$(\dot{\mathbf{w}}_s \times) = \begin{pmatrix} 0 & -\dot{w}_z & \dot{w}_y \\ \dot{w}_z & 0 & -\dot{w}_x \\ -\dot{w}_y & \dot{w}_x & 0 \end{pmatrix}$$

실시예에서 RIMU에 포함된 n 개의 단축 관성 센서 각각에 대해 위와 같은 가속도 측정 모델을 적용하는 것은 다음과 같이 표현될 수도 있다.

수학식 18

$$\mathbf{z} = \mathbf{H}(\mathbf{a}_s + \mathbf{g}_s) + \mathbf{H}_{diag} \left\{ (\mathbf{w}_s \times)^2_{diag} - (\dot{\mathbf{w}}_s \times)_{diag} \right\} \mathbf{d}_{col}$$

여기서 \mathbf{H}_{diag} , $(\mathbf{w}_s \times)^2_{diag}$, $(\dot{\mathbf{w}}_s \times)_{diag}$ 및 \mathbf{d}_{col} 은 각각 수학식 19 내지 수학식 22와 같이 주어진 다.

수학식 19

$$\mathbf{H}_{diag} = \begin{pmatrix} \mathbf{h}_1^T & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{h}_2^T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{h}_n^T \end{pmatrix}$$

수학식 20

$$(\mathbf{w}_s \times)^2_{diag} = \begin{pmatrix} (\mathbf{w}_s \times)^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (\mathbf{w}_s \times)^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (\mathbf{w}_s \times)^2 \end{pmatrix}$$

수학식 21

$$(\dot{\mathbf{w}}_s \times)_{diag} = \begin{pmatrix} (\dot{\mathbf{w}}_s \times) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (\dot{\mathbf{w}}_s \times) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (\dot{\mathbf{w}}_s \times) \end{pmatrix}$$

수학식 22

$$\mathbf{d}_{col} = \begin{pmatrix} \mathbf{d}_1 \\ \mathbf{d}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{d}_n \end{pmatrix}$$

그러면, 레버 암 오차는 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 23

$$\mathbf{e}_{LVR} = \mathbf{H}^+ \left(\mathbf{H}_{diag} \left\{ (\mathbf{w}_s \times)^2_{diag} - (\dot{\mathbf{w}}_s \times)_{diag} \right\} \mathbf{d}_{col} \right)$$

[0061]

[0062]

여기서 $\mathbf{H}^+ = (\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T$ 이다(즉, \mathbf{H}^+ 는 의사역행렬(pseudo-inverse matrix)임).

[0063]

실시에에 따르면, 기준 2에 기술된 바와 같이 레버 암 오차를 최소화하는 센서 배치로써 RIMU를 구성하기 위해, 레버 암 효과에 관련된 성능 지표 FOM_{LVR} 가 다음과 같이 정의된다. 우선, RIMU가 주행체에 부착되어 사용되는 경

우와 같이 RIMU의 회전이 랜덤(random)하다고 볼 수 있는 경우, RIMU의 각속도 \mathbf{w}_s 의 각 원소(즉, RIMU의 케이스 프레임의 각각의 축 상에서의 RIMU의 각속도 성분)는 백색 가우시안 분포(white Gaussian distribution)를 갖는 랜덤 변수로 각각 취급될 수 있고(즉, 각속도 \mathbf{w}_s 가 x축, y축 및 z축 상에서 갖는 성분은 각각 $w_{sx} \sim N(0, Q_{vx})$, $w_{sy} \sim N(0, Q_{vy})$ 및 $w_{sz} \sim N(0, Q_{vz})$ 로 표기될 수 있음), RIMU의 각가속도

$\dot{\mathbf{w}}_s$ 도 마찬가지로일 수 있다(즉, 각가속도 $\dot{\mathbf{w}}_s$ 가 x축, y축 및 z축 상에서 갖는 성분은 각각 $\dot{w}_{sx} \sim N(0, Q_{ax})$, $\dot{w}_{sy} \sim N(0, Q_{ay})$ 및 $\dot{w}_{sz} \sim N(0, Q_{az})$ 로 표기될 수 있음). 위 랜덤 변수들

각각은 0이라는 평균 값을 가지므로, 각속도 \mathbf{w}_s 및 각가속도 $\dot{\mathbf{w}}_s$ 각각을 0 벡터로 대체하여

$(\mathbf{w}_s \times)^2_{diag}$ 및 $(\dot{\mathbf{w}}_s \times)_{diag}$ 를 계산한다면 레버 암 오차 \mathbf{e}_{LVR} 는 0이 될 것이다. 그러므로, FOM_{LVR} 는 RIMU 내의 센서의 배치로 인해 3가 가속도 해 추정에서 야기되는 레버 암 오차의 섭동(perturbation)의 정도를 나타내도록 정의될 수 있다. 예를 들어, 레버 암 오차 표현식에서 RIMU의 x축, y축 및 z축 각속도 성분과 x축, y축 및 z축 각가속도 성분 중 어떤 것에든 의존하는 스칼라(scalar) 변수를 특정한 값으로 대체함으로써 레버

암 오차의 섭동의 정도를 얻을 수 있다. 예시로서, 수학식 23은 만일 $(\mathbf{w}_s \times)^2_{diag}$ 와 $(\dot{\mathbf{w}}_s \times)_{diag}$ 의 각 원소가 랜덤 변수로 간주되고 그 원소가 그것의 분산 값(이는 그 스칼라 랜덤 변수가 의존하는 각속도 또는 각가속도 성분의 분산 값에 기반하여 획득될 수 있음)으로 대체된다면 레버 암 오차의 성분별 섭동적 편차를 원

소로 갖는 섭동 편차 벡터라는 결과를 낼 것이다. 구체적으로, 수학식 23에서 각속도 \mathbf{w}_s 에 의존하는 행렬

$(\mathbf{w}_s \times)^2_{diag}$ 에 대한 다음 식의 원소별(element-wise) 분산 계산에 기반하여 $(\mathbf{w}_s \times)^2_{diag,ptb}$ 가 획득될 수 있다.

수학식 24

$$(\mathbf{w}_s \times)^2_{diag,ptb} = \begin{pmatrix} (\mathbf{w}_s \times)^2_{ptb} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (\mathbf{w}_s \times)^2_{ptb} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (\mathbf{w}_s \times)^2_{ptb} \end{pmatrix}$$

[0064]

수학식 25

$$(\mathbf{w}_s \times)_{ptb}^2 = Var\left(\left(\tilde{\mathbf{w}}_s \times\right)^2\right) = \begin{pmatrix} (\mathbf{w}_s \times)_{p1}^2 & \mathbf{Q}_{vx}\mathbf{Q}_{vy} & \mathbf{Q}_{vx}\mathbf{Q}_{vz} \\ \mathbf{Q}_{vx}\mathbf{Q}_{vy} & (\mathbf{w}_s \times)_{p2}^2 & \mathbf{Q}_{vy}\mathbf{Q}_{vz} \\ \mathbf{Q}_{vx}\mathbf{Q}_{vz} & \mathbf{Q}_{vy}\mathbf{Q}_{vz} & (\mathbf{w}_s \times)_{p3}^2 \end{pmatrix}$$

여기서 $Var(\mathbf{A})$ 는 주어진 행렬 A의 p번째 행의 q번째 열의 원소의 분산을 p번째 행의 q번째 열의 원소로 갖는 행렬을 나타내는 표기이며, $(\mathbf{w}_s \times)_{p1}^2$, $(\mathbf{w}_s \times)_{p2}^2$ 및 $(\mathbf{w}_s \times)_{p3}^2$ 는 다음과 같다.

수학식 26

$$(\mathbf{w}_s \times)_{p1}^2 = -\sqrt{\mathbf{Q}_{vy}^2 + \mathbf{Q}_{vz}^2 + 2\mathbf{Q}_{vy} + 2\mathbf{Q}_{vz} + 2\mathbf{Q}_{vy}\mathbf{Q}_{vz}}$$

$$(\mathbf{w}_s \times)_{p2}^2 = -\sqrt{\mathbf{Q}_{vx}^2 + \mathbf{Q}_{vz}^2 + 2\mathbf{Q}_{vx} + 2\mathbf{Q}_{vz} + 2\mathbf{Q}_{vx}\mathbf{Q}_{vz}},$$

$$(\mathbf{w}_s \times)_{p3}^2 = -\sqrt{\mathbf{Q}_{vx}^2 + \mathbf{Q}_{vy}^2 + 2\mathbf{Q}_{vx} + 2\mathbf{Q}_{vy} + 2\mathbf{Q}_{vx}\mathbf{Q}_{vy}}$$

마찬가지로, 각각속도 $\dot{\mathbf{w}}_s$ 에 의존하는 행렬 $(\dot{\mathbf{w}}_s \times)_{diag}$ 에 대해 다음과 같이 원소별로 분산을 계산하는 것을 통하여 $(\dot{\mathbf{w}}_s \times)_{diag,ptb}$ 가 획득될 수 있다.

수학식 27

$$(\dot{\mathbf{w}}_s \times)_{diag,ptb} = \begin{pmatrix} (\dot{\mathbf{w}}_s \times)_{ptb} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (\dot{\mathbf{w}}_s \times)_{ptb} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (\dot{\mathbf{w}}_s \times)_{ptb} \end{pmatrix}$$

수학식 28

$$(\dot{\mathbf{w}}_s \times)_{ptb} = Var\left(\left(\tilde{\dot{\mathbf{w}}}_s \times\right)\right) = \begin{pmatrix} 0 & -\mathbf{Q}_{az} & \mathbf{Q}_{ay} \\ -\mathbf{Q}_{az} & 0 & -\mathbf{Q}_{ax} \\ \mathbf{Q}_{ay} & -\mathbf{Q}_{ax} & 0 \end{pmatrix}$$

[0073] 이에 따라, 레버 암 오차의 섭동 편차 $\mathbf{e}_{LVR,ptb}$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 29

$$\mathbf{e}_{LVR,ptb} = \mathbf{H}^+ \left(\mathbf{H}_{diag} \left\{ (\mathbf{w}_s \times)^2_{diag,ptb} - (\dot{\mathbf{w}}_s \times)_{diag,ptb} \right\} \mathbf{d}_{col} \right)$$

[0075] 그러면, 실시예에서, FOM_{LVR} 는 레버 암 오차의 섭동의 정도를 그 섭동 편차 벡터의 크기를 나타내도록 다음의 수학적식과 같이 정의될 수 있다.

수학식 30

$$FOM_{LVR} = \mathbf{e}_{LVR,ptb}^T \mathbf{e}_{LVR,ptb}$$

[0077] 이 성능 지표는 더 작은 값을 가질수록 RIMU 구성이 더 양호한 추정 성능을 갖는다고 볼 수 있다.

[0078] 종래에는 여러 관성 센서가 포함된 RIMU와 같은 측정 장치를 설계하는 데에서 흔히 장치의 무게 중심으로부터 각 센서까지의 거리의 합을 염두에 두었으나, 위와 같이 정의된 새로운 지표 FOM_{LVR} 는 그에 비해 레버 암 오차와 훨씬 더 큰 친밀성(가령, 더욱 양호한 결정 계수(Coefficient Of Determination: COD))을 보여준다. 이 점에 비추어 볼 때, 기준 2에 따라 거리 벡터를 결정하는 데에서, RIMU의 무게 중심에서 떨어져 있는 센서의 거리 벡터 \mathbf{d}_i 를 방향 벡터 \mathbf{h}_i 와 평행하게 설정하여(가령, 아래의 수학식 35에 따라, 각각의 거리 벡터의 크기는 동일하게 설정하고 그것의 방향은 각자의 방향 벡터와 같은 방향으로 또는 그 반대 방향으로 센서마다 번갈아 가며 설정하여) 레버 암 오차의 섭동 편차의 각각의 성분이 0이 되게 하는 것(수학식 29 참조)은 RIMU의 무게 중심과 센서 간의 거리에 별로 상관없이 유의미할 것이다. 특히, 본 발명자는 RIMU의 케이스 프레임 좌표계 안에 가설적인(hypothetical) 단일 원추(cone)(도 2a 참조)가 있다(원추의 꼭지점은 좌표계의 원점에 있음)고 가정할 때 RIMU의 6개 이상의 관성 센서 각각의 방향 벡터를 원점으로부터 원추의 밑면의 원주(도 2b 참조) 상의 대응하는 점을 향하는 단위 벡터로 결정한 후 거리 벡터를 소정의 방식으로 방향 벡터와 평행하게 하면서 모든 거리 벡터의 크기를 (설령 그 크기가 아무리 크더라도) 동일하게 설정하는 방식으로 RIMU를 구현하면, RIMU의 무게 중심이 있는 원점이 아닌 데에 위치된 센서들이 있기는 하지만 레버 암 오차는 상쇄된다는 점을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 이와 같이, 실시예에 따른 RIMU 구현을 위한 센서 배치 기법은 그저 센서를 RIMU의 무게 중심에 가깝게 배치하는 것이 아니더라도 잠재적으로 타당한 RIMU 구성이 있다는 것을 드러내는바, 예를 들어, 센서와 RIMU의 무게 중심 간의 어느 정도의 공간(가령, 필요한 부품, 유닛, 또는 디바이스가 그 안에 수용됨)을 갖도록 RIMU를 구성하는 데에서 활용될 수 있다. 이와 관련하여, 일반적으로, 도 2a 및 도 2b에 도시된 단일 원추를 기반으로 센서의 방향 벡터를 정하는 것은 다음 수학식으로 표현된다.

수학식 31

$$\mathbf{h}_i = [\cos(i\beta) \sin(\alpha) \quad \sin(i\beta) \sin(\alpha) \quad \cos(\alpha)]^T$$

[0080] 여기서 α 는 원추의 내각이고, β 는 원추의 밑면 원주 상에 있는 호의 중심각인데, 방향 벡터는 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 그러한 호를 정의하는 밑면 원주 상의 점을 향하는 것으로 정해진다(도 2a 및 도 2b 참조). n 개의 센서가 모두 가설적 원추를 기반으로 배치된다면 β 는 다음 수학식과 같이 주어진다.

수학식 32

$$\beta = 360^\circ/n$$

이제, 다음과 같이, 수학식 31에 수학식 10의 항법 성능 조건을 부과하는 것을 고려한다.

수학식 33

$$\sum_{k=1}^n \mathbf{h}_k \mathbf{h}_k^T = \begin{pmatrix} \left(\frac{n}{2}\right)\sin^2(\alpha) & 0 & 0 \\ 0 & \left(\frac{n}{2}\right)\sin^2(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & n\cos^2(\alpha) \end{pmatrix} = \frac{n}{3} \mathbf{I}_{3 \times 3}$$

따라서, 최적의 FOM_{nav} 는 원추의 내각이 다음 식을 만족할 때 얻을 수 있다.

수학식 34

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\sqrt{1/3}\right) = 54.7356^\circ$$

또한, 위와 같은 단일 원추 기반의 센서 배향에서 수학식 12와 같은 FDI 성능 지표 FOM_{FDI} 는 센서의 개수 n 에 의존하되, 원추의 내각 α 에는 의존하지 않는다고 알려져 있다. 따라서, 위와 같이 RIMU를 구성하는 사례에서, 전술된 기준 1에 따라 최적의 항법 성능을 위한 조건 하에서 결정된 방향 벡터를 별도로 FDI 성능의 최적화를 위해 조절할 필요는 없다.

나아가, 앞서 기술된 바와 같이 거리 벡터 각각을 방향 벡터와 평행한 방향을 갖게 하면서 그 크기를 다른 거리 벡터와 동일하게 설정하는 것은 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 35

$$\mathbf{d}_i = (-1)^{i+1} k \mathbf{h}_i$$

여기서 k 는 임의의 스칼라 값이다. 다시 말해, 수학식 35에 따르면, 센서들은 임의의 사전결정된 동일한 거리만큼 원점으로부터 떨어진 위치에 배치되되, 서로 번갈아 동일 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍 및 반대 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍을 갖도록 위치가 잡힐 수 있다.

한편, 예시적인 구현에서, RIMU의 관성 센서의 개수 n 이 짝수인 경우에는 n 개의 센서 모두에 대해서 위와 같이 방향 벡터와 거리 벡터가 주어질 수 있는 반면, n 이 홀수인 경우 (i) $n-1$ 개의 센서에 대해서는 전술된 바와 마찬가지로 방향 벡터와 거리 벡터가 주어지되, 각도 β 는 수학식 36 같고, (ii) 나머지 1개의 센서의 방향 벡터와 거리 벡터는 각각 수학식 37 및 수학식 38에 따라 주어지, RIMU 내의 센서 배치는 대칭성을 가질 수 있고, 이러한 대칭성을 기반으로 RIMU의 무게 중심이 케이스 프레임 좌표계의 원점에 있도록 하는 것이 수월하게 될 수 있다.

수학식 36

$$\beta = 360^\circ / (n - 1)$$

[0091]

수학식 37

$$\mathbf{h}_n = [0 \quad 0 \quad 1]^T$$

[0092]

수학식 38

$$\mathbf{d}_n = [0 \quad 0 \quad 0]^T$$

[0093]

[0094] 수학식 38의 거리 벡터는 RIMU의 케이스 프레임 좌표계의 원점을 가리킨다. 원점에 배치된 센서에 대해서도 레버 암 오차의 섭동 편차의 대응하는 성분은 0이다(수학식 29 참조).

[0095] 상술한 바와 같이 단일 원추 형태를 기반으로 RIMU 내의 단축 관성 센서의 배향과 위치를 결정하여 센서를 배치함으로써 최적의 항법 성능과 FDI 성능을 가지면서도 센서 배치로 인한 레버 암 오차를 상쇄시킬 수가 있다. 도 3a 및 도 3b는 예시적인 배치 기법에 따라 각각 8개 및 9개의 관성 센서를 RIMU 내에 배치하는 것을 도식적으로 보여준다. 도 4a 및 도 4b는 예시적인 배치 기법에 따라 각각 8개 및 9개의 관성 센서가 배치된 RIMU에서 각 센서의 방향 벡터와 거리 벡터를 보여준다.

[0096] 아래에서, 추가적으로, 본 발명의 몇몇 양상이 설명된다.

[0097] 본 발명의 실시예에 따르면, n개의 단축 관성 센서를 포함하는 중첩 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU) 장치가 제공된다(단, n은 6 이상인 정수임). 이 실시예는 다음의 옵션 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0098] 이 실시예에서, RIMU 장치는 n개의 단축 관성 센서를 하우징(housing)하는 케이스를 더 포함할 수 있다.

[0099] 이 실시예에서, n개의 단축 관성 센서는 각자의 방향 벡터 및 각자의 거리 벡터에 따라 배치될 수 있다. 예시적인 구현에 따르면, 각자의 방향 벡터 각각은 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계에서의 배향을 나타낼 수 있고, 각자의 거리 벡터 각각은 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계에서의 위치를 나타낼 수 있다.

[0100] 이 실시예에서, n개의 단축 관성 센서에 대해, 각자의 방향 벡터는 RIMU 장치의 항법 성능 지표가 최소값을 갖기 위한 조건 하에서 RIMU 장치의 FDI 성능 지표가 최대값을 갖도록 정해진 것일 수 있다. 예시적인 구현에 따르면, 항법 성능 지표는 n개의 단축 관성 센서의 측정에 기반한 RIMU 장치의 가속도 또는 각속도의 추정의 불확실성을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 항법 성능 지표는 수학식 7과 같이 위 추정의 오차의 공분산 행렬의 행렬식에 기반하여 정의될 수 있거나, 수학식 8과 같이 그러한 오차 공분산 행렬의 트레이스에 기반하여 정의될 수 있다. 또한, 예시적인 구현에 따르면, FDI 성능 지표는 n개의 단축 관성 센서 각각에 대한 고장 감도 중 최소값을 나타낼 수 있다. 예를 들어, FDI 성능 지표는 수학식 12 또는 수학식 13에 주어진 바와 같이 각각의 방향 벡터 간의 각도에 기반하여 정의될 수 있다.

[0101] 이 실시예에서, n개의 단축 관성 센서에 대해, 각자의 거리 벡터는 전술된 바와 같은 각자의 방향 벡터를 기반으로 RIMU 장치의 레버 암 효과(lever arm effect) 관련 성능 지표를 최소화하도록 정해진 것일 수 있다. 예시적인 구현에 따르면, 레버 암 효과 관련 성능 지표는 RIMU 장치 내에서의 n개의 단축 관성 센서의 배치에 의해 RIMU 장치의 가속도 또는 각속도 추정에 야기되는 레버 암 오차의 섭동의 정도를 나타낼 수 있다. 예를 들어, 그러한 섭동의 정도는 수학식 30과 같이 레버 암 오차의 섭동 편차 벡터의 크기를 나타낼 수 있다. 한정이 아니라 예시로서, 수학식 29에 주어진 바와 같이, 그러한 섭동 편차 벡터는 레버 암 오차의 표현식(가령, 수학식 23)에서 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 직교하는 3개의 축 상에서의 RIMU 장치의 각속도 성분 및 각가속

도 성분 중의 어느 성분에도 의존하는 스칼라 변수를 특정 값으로 대체한 결과일 수 있는데, 여기서 스칼라 변수가 대체된 특정 값은 스칼라 변수가 의존하는 성분을 대응하는 분산 값을 갖는 랜덤 변수로 취급하고 스칼라 변수도 랜덤 변수로 취급하여 해당 성분의 분산 값에 따라 스칼라 변수의 분산 값으로서 획득된 값일 수 있다 (가령, 수학적식 24 내지 수학적식 28에서 제시된 바와 같은 원소별 분산 계산을 참조하시오).

[0102] 이 실시예에서, n 개의 단축 관성 센서는 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점에 RIMU 장치의 무게 중심이 있도록 위치될 수 있다. 또한, 이 실시예에서, n 개의 단축 관성 센서 중에서 RIMU 장치의 무게 중심(즉, 좌표계의 원점)이 아닌 데에 위치한 단축 관성 센서 각각의 거리 벡터와 방향 벡터는 평행할 수 있다. 예를 들어, 거리 벡터와 방향 벡터의 그러한 쌍은 수학적식 29의 섭동 편차 벡터를 0 벡터가 되게 할 수 있다.

[0103] 이 실시예에서, n 이 짝수인 경우, n 개의 단축 관성 센서에 대해, 각자의 거리 벡터는 각자의 방향 벡터를 기반으로, n 개의 단축 관성 센서가 서로 번갈아 동일 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍 및 반대 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍을 갖되, RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 동일한 거리만큼 떨어져 배치된 위치를 나타내도록 정해질 수 있다. 또한, 이 실시예에서, n 개의 단축 관성 센서에 대해, 각자의 방향 벡터 각각은 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 그 원점에 꼭지점이 있는 가설적인 원추의 밑면의 원주 상의 복수의 점 중 대응하는 것을 향하는 단위 벡터로 정해질 수 있는데, 밑면 원주 상의 그러한 점들은 그 원주 상에 동일한 중심각의 호를 정의할 수 있다. 예시적인 구현에 따르면, n 개의 단축 관성 센서에 대해, 각자의 방향 벡터는 수학적식 31에 따라 정해질 수 있고(여기서 원추의 내각 및 원추 밑면 원주 상의 호의 중심각은 각각 수학적식 34 및 수학적식 32에 따라 주어짐), 각자의 거리 벡터는 수학적식 35에 따라 정해질 수 있다 (여기서 각각의 센서가 좌표계의 원점으로부터 동일한 거리만큼 떨어져 위치되도록 거리 벡터의 크기 및 대응하는 방향 벡터의 크기 간의 비는 동일한 값을 가짐).

[0104] 이 실시예에서, n 이 홀수인 경우, n 개의 단축 관성 센서 중 하나는 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점에 위치되고, n 개의 단축 관성 센서 중 나머지 단축 관성 센서에 대해, 각자의 거리 벡터는 각자의 방향 벡터를 기반으로, 이들 나머지 단축 관성 센서가 서로 번갈아 동일 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍 및 반대 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍을 갖되, RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 동일한 거리만큼 떨어져 배치된 위치를 나타내도록 정해질 수 있다. 또한, 이 실시예에서, RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점에 위치한 것을 제외한 나머지 단축 관성 센서에 대해, 각자의 방향 벡터 각각은 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 그 원점에 꼭지점이 있는 가설적인 원추의 밑면의 원주 상의 복수의 점 중 대응하는 것을 향하는 단위 벡터로 정해질 수 있는데, 밑면 원주 상의 그러한 점들은 그 원주 상에 동일한 중심각의 호를 정의할 수 있고, RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점에 위치한 하나의 단축 관성 센서의 방향 벡터는 그 원점으로부터 원추의 밑면의 중심을 향하는 단위 벡터로 정해질 수 있다. 예시적인 구현에 따르면, RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점에 위치한 것을 제외한 나머지 단축 관성 센서에 대해, 각자의 방향 벡터는 수학적식 31에 따라 정해질 수 있고(여기서 원추의 내각 및 원추 밑면 원주 상의 호의 중심각은 각각 수학적식 34 및 수학적식 32에 따라 주어짐), 각자의 거리 벡터는 수학적식 35에 따라 정해질 수 있으며(여기서 각각의 센서가 좌표계의 원점으로부터 동일한 거리만큼 떨어져 위치되도록 거리 벡터의 크기 및 대응하는 방향 벡터의 크기 간의 비는 동일한 값을 가짐), RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점에 위치한 하나의 단축 관성 센서의 방향 벡터는 수학적식 37에 따라 정해질 수 있다.

[0105] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, n 개의 단축 관성 센서를 포함하는 중복 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU) 장치가 제공된다(단, n 은 6 이상인 짝수임). 이 실시예는 다음의 옵션 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0106] 이 실시예에서, RIMU 장치는 n 개의 단축 관성 센서를 하우징하는 케이스를 더 포함할 수 있다.

[0107] 이 실시예에서, n 개의 단축 관성 센서는 각자의 방향 벡터 및 각자의 거리 벡터에 따라 케이스 내에 배치될 수 있다. 예시적인 구현에 따르면, 각자의 방향 벡터 각각은 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계에서의 배향을 나타낼 수 있고, 각자의 거리 벡터 각각은 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계에서의 위치를 나타낼 수 있다. 이 실시예에서, n 개의 단축 관성 센서에 대해, 각자의 방향 벡터 각각은 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 그 원점에 꼭지점이 있는 가설적인 원추의 밑면의 원주 상의 복수의 점 중 대응하는 것을 향하는 단위 벡터로 정해진 것일 수 있는데, 밑면 원주 상의 그러한 점들은 그 원주 상에 동일한 중심각의 호를 정의할 수 있다. 또한, 이 실시예에서, n 개의 단축 관성 센서에 대해, 각자의 거리 벡터는 각자의 방향 벡터를 기반으로, n 개의 단축 관성 센서가 서로 번갈아 동일 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍 및 반대 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍을 갖되, RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 동일한 거리만큼 떨어져 배

치된 위치를 나타내도록 정해진 것일 수 있다. 예시적인 구현에 따르면, n개의 단축 관성 센서에 대해, 각자의

방향 벡터는 $\mathbf{h}_i = [\cos(i\beta) \sin(\alpha) \quad \sin(i\beta) \sin(\alpha) \quad \cos(\alpha)]^T$ 에 따라 정해질 수 있고(여

기서 i는 1 이상이고 n 이하인 정수이고($i = 1, 2, \dots, n$), $\alpha = \cos^{-1}(\sqrt{1/3})$ 이며,

$\beta = 360^\circ/n$ 임), 각자의 거리 벡터는 $\mathbf{d}_i = (-1)^{i+1}k\mathbf{h}_i$ 에 따라 정해질 수 있다(여기서 k는 동일한 스칼라 값임).

[0108] 이 실시예에서, RIMU 장치는 프로세서를 더 포함할 수 있는데, 프로세서는 n개의 단축 관성 센서와 커플링될 (coupled) 수 있고, n개의 단축 관성 센서 각각의 측정 값을 처리하는 머신 판독가능 명령어를 실행하도록 구성될 수 있다. 예시적인 구현에 따르면, 프로세서는 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 n개의 단축 관성 센서보다는 가깝게 케이스 내에 배치될 수 있다. 또한, 그러한 구현에서, RIMU 장치의 무게 중심은 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점일 수 있다.

[0109] 본 발명의 또 다른 실시예에 따르면, n개의 단축 관성 센서를 포함하는 중복 관성 측정 유닛(Redundant Inertial Measurement Unit: RIMU) 장치가 제공된다(단, n은 7 이상인 홀수임). 이 실시예는 다음의 옵션 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0110] 이 실시예에서, RIMU 장치는 n개의 단축 관성 센서를 하우징하는 케이스를 더 포함할 수 있다.

[0111] 이 실시예에서, n개의 단축 관성 센서는 각자의 방향 벡터 및 각자의 거리 벡터에 따라 케이스 내에 배치될 수 있다. 예시적인 구현에 따르면, 각자의 방향 벡터 각각은 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계에서의 배향을 나타낼 수 있고, 각자의 거리 벡터 각각은 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계에서의 위치를 나타낼 수 있다.

[0112] 이 실시예에서, n개의 단축 관성 센서 중에서 하나의 단축 관성 센서인 제n 단축 관성 센서를 제외한 나머지 단축 관성 센서인 제1 단축 관성 센서 내지 제(n-1) 단축 관성 센서에 대해, 각자의 방향 벡터 각각은 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 그 원점에 꼭지점이 있는 가설적인 원추의 밑면의 원주 상의 복수의 점 중 대응하는 것을 향하는 단위 벡터로 정해진 것일 수 있는데, 밑면 원주 상의 그러한 점들은 그 원주 상에 동일한 중심각의 호를 정의할 수 있다. 또한, 이 실시예에서, 제1 내지 제(n-1) 단축 관성 센서에 대해, 각자의 거리 벡터는 각자의 방향 벡터를 기반으로, 제1 내지 제(n-1) 단축 관성 센서가 서로 번갈아 동일 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍 및 반대 방향으로 된 거리 벡터와 방향 벡터의 쌍을 갖되, RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 동일한 거리만큼 떨어져 배치된 위치를 나타내도록 정해진 것일 수 있다. 또한, 이 실시예에서, 제n 단축 관성 센서는 RIMU 장치의 무게 중심이 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점에 있도록, 예컨대, RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점에 위치될 수 있고, 그 원점으로부터 가설적인 원추의 밑면의 중심을 향하도록 배향될 수 있다. 예시적인 구현에 따르면, 제1 내지 제(n-1) 단축 관성 센서에 대해, 각

자의 방향 벡터는 $\mathbf{h}_i = [\cos(i\beta) \sin(\alpha) \quad \sin(i\beta) \sin(\alpha) \quad \cos(\alpha)]^T$ 에 따라 정해질 수 있

고(여기서 i는 1 이상이고 n-1 이하인 정수이고($i = 1, 2, \dots, n-1$), $\alpha = \cos^{-1}(\sqrt{1/3})$ 이며,

$\beta = 360^\circ/(n-1)$ 임), 각자의 거리 벡터는 $\mathbf{d}_i = (-1)^{i+1}k\mathbf{h}_i$ 에 따라 정해질 수 있으며(여기서

k는 동일한 스칼라 값임), 제n 단축 관성 센서의 거리 벡터와 방향 벡터는 각각 $\mathbf{d}_n = [0 \quad 0 \quad 0]^T$ 및

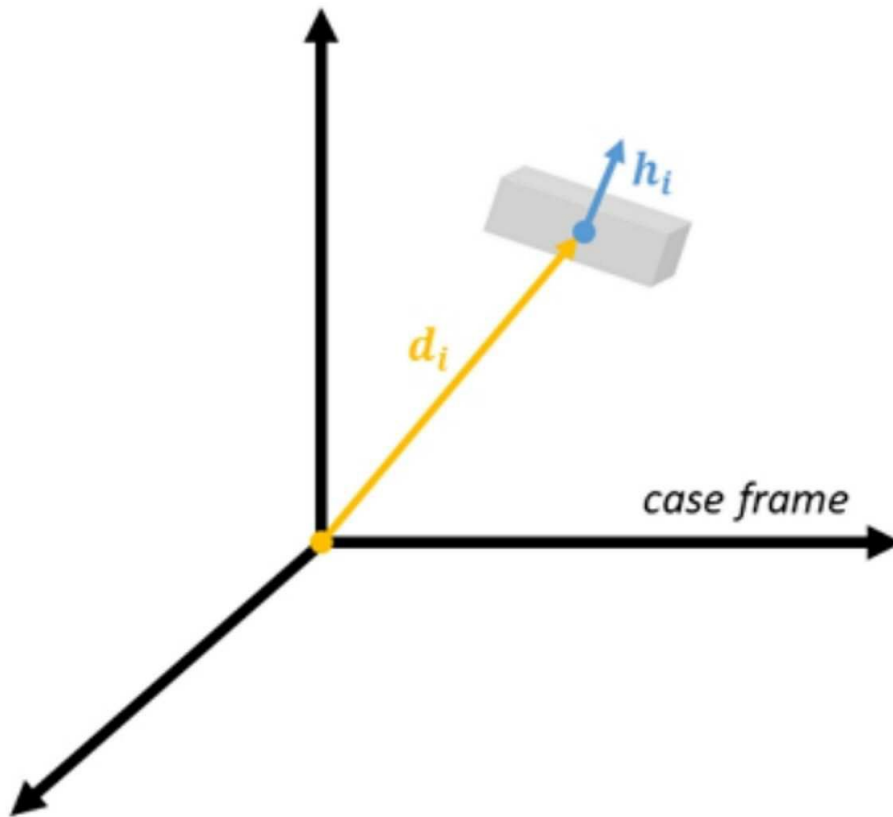
$\mathbf{h}_n = [0 \quad 0 \quad 1]^T$ 에 따라 정해질 수 있다.

[0113] 이 실시예에서, RIMU 장치는 프로세서를 더 포함할 수 있는데, 프로세서는 n개의 단축 관성 센서와 커플링될 수 있고, n개의 단축 관성 센서 각각의 측정 값을 처리하는 머신 판독가능 명령어를 실행하도록 구성될 수 있다. 예시적인 구현에 따르면, 프로세서는 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점으로부터 제1 내지 제(n-1) 단축 관성 센서보다는 가깝게, 그리고 제n 단축 관성 센서보다는 멀게 케이스 내에 배치될 수 있다. 또한, 그러한 구현에서, RIMU 장치의 무게 중심은 RIMU 장치의 케이스 프레임 좌표계의 원점일 수 있다.

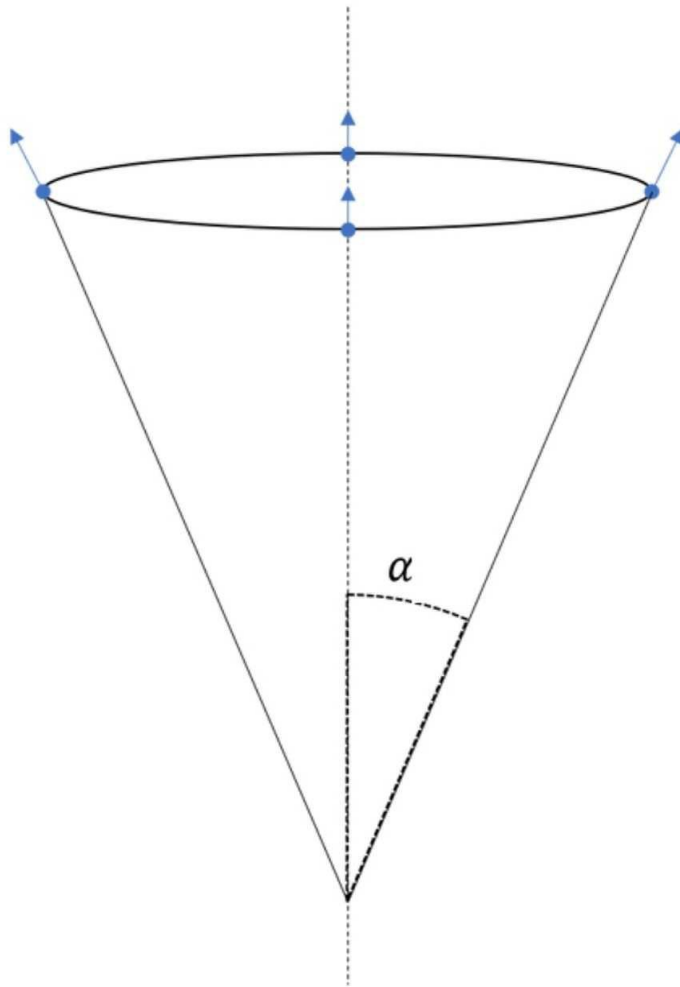
[0114] 이상에서 본 발명의 몇몇 실시예가 상세하게 기술되었으나, 이는 제한적이 아니고 예시적인 것으로 간주되어야 한다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 개시된 실시예의 세부사항에 대해 본 발명의 범주에서 벗어나지 않고서 다양한 변경이 행해질 수 있음을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 범주는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위 및 그 균등물에 의해 정해져야 한다.

도면

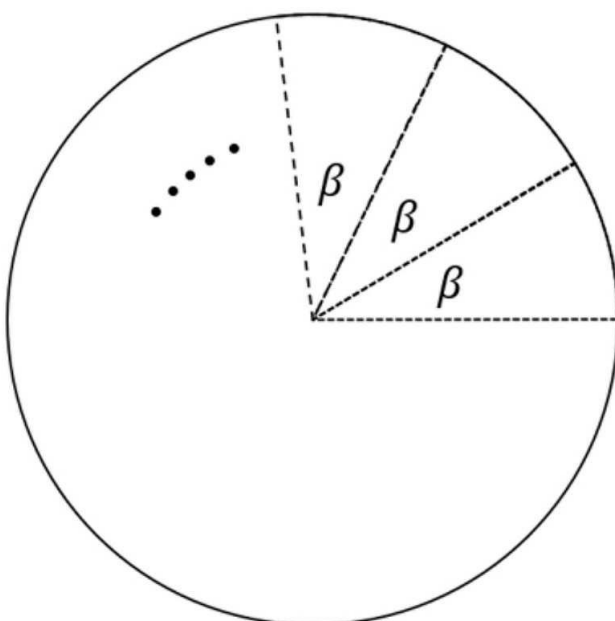
도면1



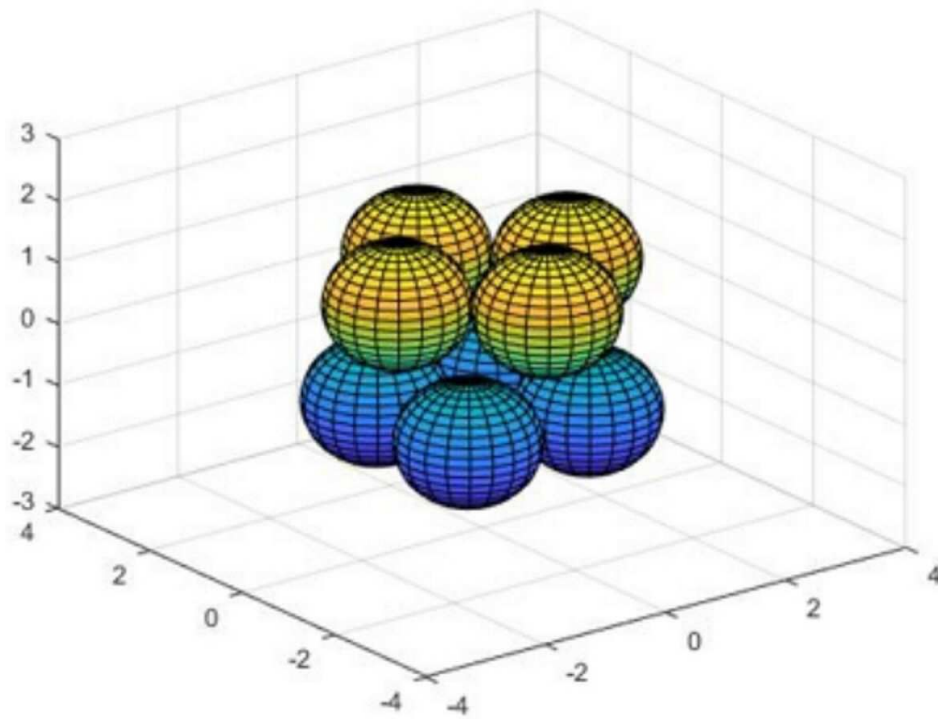
도면2a



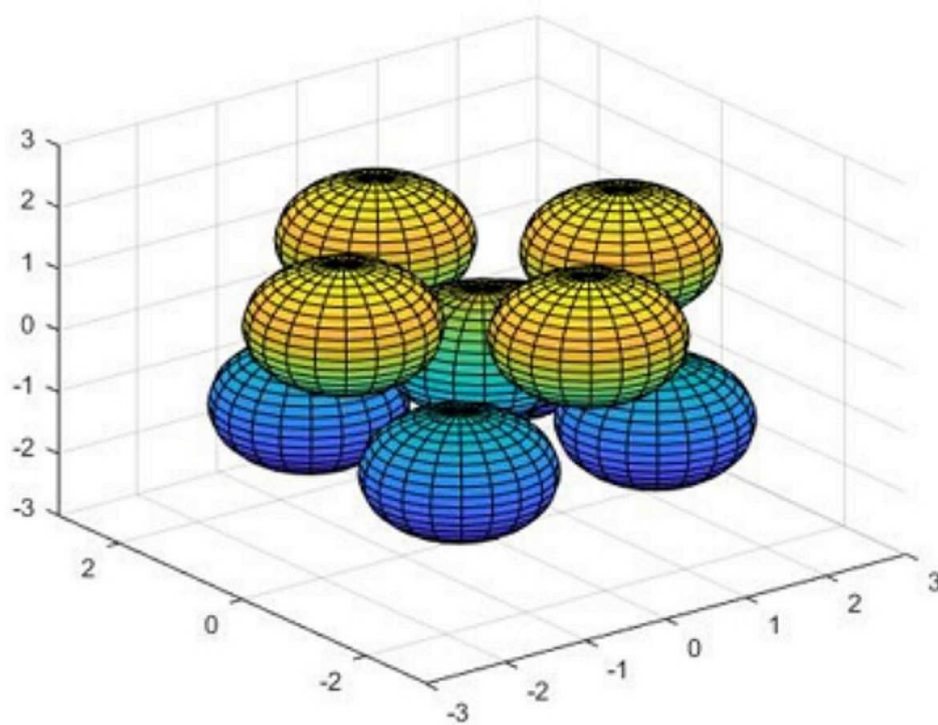
도면2b



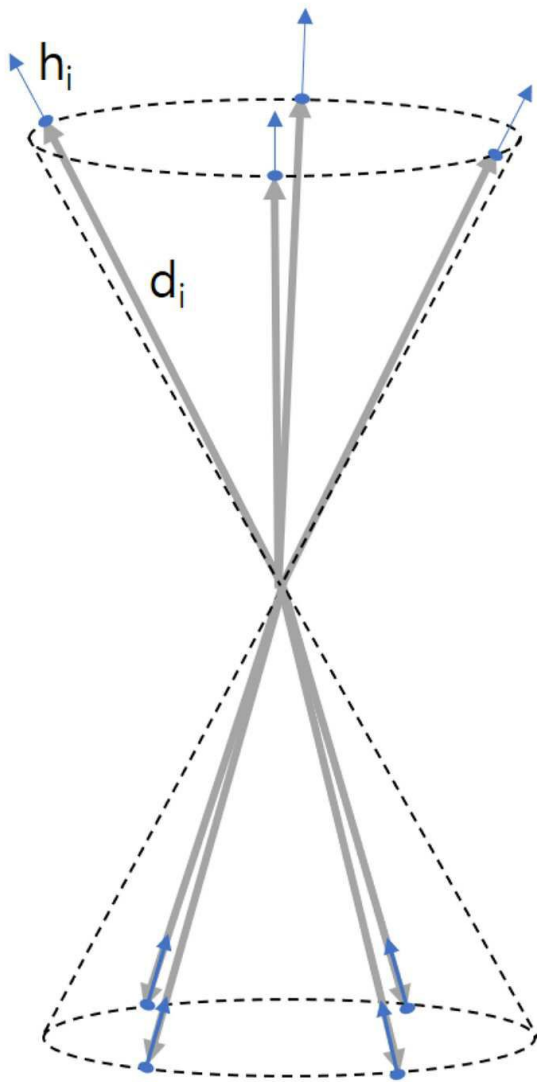
도면3a



도면3b



도면4a



도면4b

