(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년02월20일
(11) 등록번호 10-1950359
(24) 등록일자 2019년02월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 7/00 (2017.01) *G01P 15/00* (2006.01)
G01P 15/14 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06T 7/514 (2017.01)
G01P 15/003 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0162077
(22) 출원일자 2016년11월30일
심사청구일자 2016년11월30일
(65) 공개번호 10-2018-0062137
(43) 공개일자 2018년06월08일
(56) 선행기술조사문헌
KR100761011 B1*
KR101080078 B1*
KR1020130049610 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
(주)코어센스
대전광역시 유성구 테크노2로 187, 비동 516호 (용산동,미건테크노월드2차)
(72) 발명자
김민경
대전광역시 유성구 지족동로 123, 606동 802호(지족동, 노은해랑숲마을6단지아파트)
박진하
대전광역시 유성구 지족동로 123, 606동 802호(지족동, 노은해랑숲마을6단지아파트)
정하형
대전광역시 서구 관저중로96번길 84 (관저동)
(74) 대리인
유병선

전체 청구항 수 : 총 2 항 심사관 : 박상철

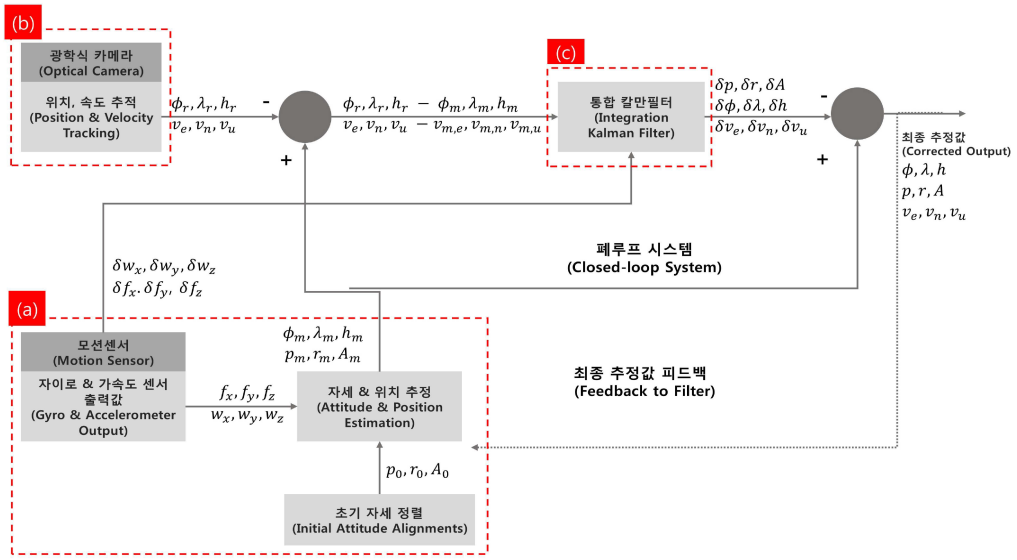
(54) 발명의 명칭 **하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 방법**

(57) 요 약

본 발명은 광학식 모션캡쳐 시스템과 센서식 모션캡쳐 시스템이 융합된 하이브리드 모션캡쳐 시스템에서 센서식 모션캡쳐 시스템의 구성요소인 모션센서가 추정한 위치에 대한 오차를 광학식 모션캡쳐 시스템에서 보상할 수 있도록 하는 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 방법에 관한 것이다.

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도5



본 발명에 따른 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 방법은 센서식 모션캡쳐 시스템과 광학식 모션캡쳐 시스템의 강체(rigid body) 위치 추정 정보를 융합하여 강체의 위치를 추정하는 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 방법으로서, 상기 센서식 모션캡쳐 시스템에서 가속도센서와 자이로센서가 구비된 모션센서를 통하여 강체의 움직임을 측정하여 강체의 위치와 속도 및 자세를 추정하는 단계와; 상기 광학식 모션캡쳐 시스템에서 광학식 카메라를 통하여 강체에 부착된 마커를 촬영하여 강체의 이동을 측정하여 강체의 위치 및 속도를 추정하는 단계와; 통합 칼만필터에서 상기 광학식 모션캡쳐 시스템과 센서식 모션캡쳐 시스템의 강체 위치 및 속도 추정 차이값을 입력받아, 현재 입력되는 차이값과 이전 시간에 입력된 차이값과 비교하여 추정 오차를 산출하고, 산출된 추정 오차를 통하여 최종 추정값을 계산하여 강체의 현재 위치를 추정하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류
G01P 15/14 (2013.01)
G06T 7/55 (2017.01)
G06T 7/75 (2017.01)
G06T 2207/20044 (2013.01)
G06T 2207/30204 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

센서식 모션캡쳐 시스템에서 가속도센서와 자이로센서가 구비된 모션센서를 통하여 강체(rigid body)의 움직임을 측정하여 강체의 위치와 속도 및 자세를 추정하는 단계(a)와, 광학식 모션캡쳐 시스템에서 광학식 카메라를 통하여 강체에 부착된 마커를 촬영하여 강체의 이동을 측정하여 강체의 위치 및 속도를 추정하는 단계와(b)와, 통합 칼만필터에서 상기 광학식 모션캡쳐 시스템과 센서식 모션캡쳐 시스템의 강체 위치 및 속도 추정 차이값을 입력받아 현재 입력되는 차이값과 이전 시간에 입력된 차이값과 비교하여 추정 오차를 산출하고 산출된 추정 오차를 통하여 최종 추정값을 계산하여 강체의 현재 위치를 추정하는 단계((c);를 포함하는 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 방법으로서,

상기 통합 칼만필터는 강체 위치에 대한 최종 추정값을 센서식 모션캡쳐 시스템에 피드백하여, 상기 센서식 모션캡쳐 시스템의 모션센서 오차 누적을 보상하되,

상기 통합 칼만필터는 이전 시간에서의 상기 광학식 모션캡쳐 시스템과 센서식 모션센서 시스템의 출력값 차이와 센서식 모션캡쳐 시스템의 모션센서 출력값 센서오차를 이용하여 예측값을 계산하고, 상기 센서식 모션캡쳐 시스템의 모션센서에서 추정한 강체의 속도와 상기 두 시스템의 위치 차이를 이용하여 측정값을 계산하며, 상기 구해진 측정값에서 예측값을 빼줌으로서 오차 값(v_k)을 계산하고, 상기 계산된 오차 값에 칼만이득(K_k)을 곱한 값과 이전 추정값을 더함으로서 최종 추정값($\widehat{x_{k(+)}}$)을 산출하며,

상기 통합 칼만필터의 상태모델은 다으의 수학식과 같이 나타내는 것을 특징으로 하는 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 방법.

$$\delta\dot{x}(t) = F_x(t)\delta x(t) + Gw(t)$$

(여기서, x는 광학식 모션캡쳐 시스템과 센서식 모션센서 시스템의 출력값 차이와 모션센서 출력값의 센서오차를 원소로 하는 입력값이고, F는 시간(t)에 따라 에러를 전달하는 다이나믹 행렬로 위치 오차, 속도 오차, 자세 오차, 자이로센서 오차, 가속도센서 오차를 포함하며, Gw(t)는 노이즈를 나타낸다)

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 통합 칼만필터의 업데이트 단계를 위한 측정 상태모델은 다음의 수학식과 같이 나타내는 것을 특징으로 하는 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 방법.

[수학식]

$$z = \begin{bmatrix} \phi_r - \phi_m \\ \lambda_r - \lambda_m \\ h_r - h_m \\ v_{e,0} - v_{e,m} \\ v_{n,0} - v_{n,m} \\ v_{u,0} - v_{u,m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1\,0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \\ 0\,1\,0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \\ 0\,0\,1\,0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} \delta\eta_\phi \\ \delta\eta_\lambda \\ \delta\eta_h \\ \delta\eta_{ve} \\ \delta\eta_{vn} \\ \delta\eta_{vu} \end{bmatrix}$$

(여기서, $v_{e,m}, v_{n,m}, v_{um}$ 은 모션센서에서 추정한 속도를 나타내고, $v_{e,0}, v_{n,0}, v_{u,0}$ 은 속도의 초기값을 나타내며, $\delta\eta_{v,e}, \delta\eta_{v,n}, \delta\eta_{v,u}$ 은 초기속도의 불확실성을 표현한 것이다. 또한, ϕ_r, λ_r, h_r 는 광학식에서 추적한 위치값이고, ϕ_m, λ_m, h_m 는 모션센서에서 추정한 위치값이며, $\delta\eta_\phi, \delta\eta_\lambda, \delta\eta_h$ 는 측정한 위치의 불확실성을 나타낸다)

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 강체의 위치 추정 방법에 관한 것으로, 특히 광학식 모션캡쳐 시스템과 센서식 모션캡쳐 시스템이 융합된 하이브리드 모션캡쳐 시스템에서 센서식 모션캡쳐 시스템의 구성요소인 모션센서가 추정한 위치에 대한 오차를 광학식 모션캡쳐 시스템에서 보상할 수 있도록 하는 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 모션 캡쳐(Motion Cature)란 인체 또는 사물 등(이하, 강체로 총칭한다)에 센서를 부착시키거나, 적외선 카메라 등을 이용하는 방법으로 강체의 움직임을 파악하여 디지털 형태로 기록하는 작업을 말한다. 이러한 모션 캡쳐를 통해 얻어지는 모션 캡쳐 데이터는 디지털 콘텐츠로서, 애니메이션이나 영화 게임, 동작분석, 재활 등 다양하게 활용된다.

[0003] 종래 모션 캡쳐 시스템으로는 여러 대의 카메라를 통해서 반사 마커의 위치를 추적함으로서 강체의 모션 캡쳐를 수행하는 광학식 모션캡쳐 시스템(Optical Position System)이 있는데, 이러한 광학식 모션캡쳐 방식은 마커가 관찰 가능할 때 정밀한 위치정보를 제공해 줄 수 있다. 하지만, 이러한 광학식 모션캡쳐 시스템은 반사 마커를 촬영하는 가시카메라의 수와 빛 반사 등의 외부 교란 신호, 반사 마커의 가림에 의해 정상 동작이 불가능해지는 경우가 발생하는 단점이 있다.

[0004] 다른 방식으로 인체나 사물에 모션센서를 부착하고 이 모션센서의 움직임을 파악하여 모션 캡쳐를 수행하는 센서식 모션캡쳐 시스템이 이용되기도 하는데, 이 방식은 모션센서를 부착하는 방식이기 때문에 광학식에 비하면 사용자의 착용이 수월한 편이다. 이러한 센서식 모션캡쳐 방식은 광학식 모션캡쳐 방식에 비해 외부 환경의 영향을 덜 받지만, 센서의 바이어스 오차, 환산계수 오차, 비정렬 오차, 초기정렬 오차 등의 요인으로 오차가 급격히 증가하는 문제점이 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1483713호 (2015.01.12)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 상기 종래 광학식 또는 센서식 모션캡쳐 시스템에서 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로서, 본 발명의 목적은 광학식 모션캡쳐 시스템과 센서식 모션캡쳐 시스템을 융합하여 서로의 단점을 보완하는 하이브리드 모션캡쳐 시스템을 제공하되, 하이브리드 모션캡쳐 과정에서 발생하는 오차를 보상하여 강체의 정확한 위치 추정이 가능하도록 하는 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 방법은 센서식 모션캡쳐 시스템과 광학식 모션캡쳐 시스템의 강체(rigid body) 위치 추정 정보를 융합하여 강체의 위치를 추정하는 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 방법으로서, 상기 센서식 모션캡쳐 시스템에서 가속도센서와 자이로센서가 구비된 모션센서를 통하여 강체의 움직임을 측정하여 강체의 위치와 속도 및 자세를 추정하는 단계와; 상기 광학식 모션캡쳐 시스템에서 광학식 카메라를 통하여 강체에 부착된 마커를 촬영하여 강체의 이동을 측정하여 강체의 위치 및 속도를 추정하는 단계와; 통합 칼만필터에서 상기 광학식 모션캡쳐 시스템과 센서식 모션캡쳐 시스템의 강체 위치 및 속도 추정 차이값을 입력받아, 현재 입력되는 차이값과 이전 시간에 입력된 차이값과 비교하여 추정 오차를 산출하고, 산출된 추정 오차를 통하여 최종 추정값을 계산하여 강체의 현재 위치를 추정하게 된다.

[0008] 여기에서, 상기 칼만필터는 강체 위치에 대한 최종 추정값을 센서식 모션캡쳐 시스템에 피드백하여, 상기 센서식 모션캡쳐 시스템의 모션센서 오차 누적을 보상하도록 한다.

[0009] 상기 통합 칼만필터는 이전 시간에서의 상기 광학식 모션캡쳐 시스템과 센서식 모션센서 시스템의 출력값 차이와 센서식 모션캡쳐 시스템의 모션센서 출력값 센서오차를 이용하여 예측값을 계산하고, 상기 센서식 모션캡쳐 시스템의 모션센서에서 추정한 강체의 속도와 상기 두 시스템의 위치 차이를 이용하여 측정값을 계산하며, 상기 구해진 측정값에서 예측값을 빼줌으로서 오차 값(v_k)을 계산하고, 상기 계산된 오차 값에 칼만이득(K_k)을 곱한 값과 이전 추정값을 더함으로서 최종 추정값($\widehat{x_{k(+)}}$)을 산출하게 된다.

[0010] 상기 통합 칼만필터의 상태모델은 다음의 수학식과 같이 나타낸다.

[0011] [수학식]

[0012] $$\delta\dot{x}(t) = F_x(t)\delta x(t) + Gw(t)$$

[0013] (여기서, x는 광학식 모션캡쳐 시스템과 센서식 모션센서 시스템의 출력값 차이와 모션센서 출력값의 센서오차를 원소로 하는 입력값이고, F는 시간(t)에 따라 에러를 전달하는 다이나믹 행렬로 위치 오차, 속도 오차, 자세 오차, 자이로센서 오차, 가속도센서 오차를 포함하며, Gw(t)는 노이즈를 나타낸다)

[0014] 또한, 상기 통합 칼만필터의 업데이트 단계를 위한 측정 상태모델은 다음의 수학식과 같이 나타낸다.

[0015] [수학식]

[0016] $$z = \begin{bmatrix} \phi_r - \phi_m \\ \lambda_r - \lambda_m \\ h_r - h_m \\ v_{e,0} - v_{e,m} \\ v_{n,0} - v_{n,m} \\ v_{u,0} - v_{u,m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1\,0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \\ 0\,1\,0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \\ 0\,0\,1\,0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} \delta\eta_\phi \\ \delta\eta_\lambda \\ \delta\eta_h \\ \delta\eta_{ve} \\ \delta\eta_{vn} \\ \delta\eta_{vu} \end{bmatrix}$$

[0017] (여기서, $v_{e,m}, v_{n,m}, v_{um}$ 은 모션센서에서 추정한 속도를 나타내고, $v_{e,0}, v_{n,0}, v_{u,0}$ 은 속도의 초기값을 나타내며, $\delta\eta_{v,e}, \delta\eta_{v,n}, \delta\eta_{v,u}$ 은 초기속도의 불확실성을 표현한 것이다. 또한, ϕ_r, λ_r, h_r 는 광학식에서 추적한

위치값이고, ϕ_m, λ_m, h_m 는 모션센서에서 추정한 위치값이며, $\delta\eta_\phi, \delta\eta_\lambda, \delta\eta_h$ 는 측정한 위치의 불확실성을 나타낸다)

발명의 효과

[0018] 본 발명에 따른 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 방법은 센서식 모션센서 시스템과 광학식 모션센서 시스템의 단점을 서로 보완하기 위해, 광학식 모션캡쳐 시스템에서 추정한 오차와 센서식 모션캡쳐 시스템에서 추정한 오차를 통합칼만필터를 통해서 융합하고, 통합칼만필터에서 추정한 오차를 모션센서로 피드백하는 방식으로 오차를 보정함으로써 보다 정확한 위치 추정이 가능한 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명에 따른 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 개념도,

도 2는 본 발명에 따른 하이브리드 모션캡쳐 시스템에서 광학식 모션캡쳐 시스템과 센서식 모션캡쳐 시스템의 융합 방식을 나타낸 개념도,

도 3은 본 발명에 따른 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 하드웨어 구성도,

도 4는 본 발명에 따른 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 방법을 나타낸 개념도,

도 5는 본 발명에 따른 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치추정 알고리즘의 처리 흐름도,

도 6은 본 발명에 따른 센서식 모션캡쳐 시스템에서 강체의 속도, 위치, 자세를 추정하는 과정을 나타낸 처리 흐름도,

도 7은 본 발명에 따른 광학식 모션캡쳐 시스템에서 반사 마커의 위치와 속도를 추적하는 과정을 나타낸 처리 흐름도,

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.

[0021] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 개념도이고, 도 2는 하이브리드 모션캡쳐 시스템에서 광학식 모션캡쳐 시스템과 센서식 모션캡쳐 시스템의 융합 방식을 나타낸 개념도이다.

[0022] 도 1과 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 하이브리드 모션캡쳐 시스템은 강체(인체 또는 사물)에 부착된 센서식 모션센서 시스템의 신호를 분석하여 인체의 3차원 움직임을 파악하고, 광학식 모션캡쳐 시스템을 통하여 강체에 부착된 반사 마커의 이동을 촬영하고 분석하여 위치 이동을 파악하며, 이러한 인체의 3차원 움직임 정보와 인체의 위치 이동 정보를 융합하여 강체의 고정밀 위치 추정을 수행하는 시스템이다. 즉, 자세측정센서 기반의 모션센서는 롤, 피치, 요의 자세정보만을 제공하기 때문에 강체의 움직임은 표현하지만 공간상에서의 이동정보는 표현할 수 없는데, 여기에 카메라 기반의 광학식 위치측정 시스템을 결합하여 모션캡쳐시 자세정보뿐만 아니라 이동 정보를 제공할 수 있게 된다.

[0023]

[0024] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 하드웨어 구성도를 나타낸 것이고, 도 4는 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 방법을 나타낸 개념도이다.

[0025] 도 3과 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 하이브리드 모션캡쳐 시스템은 센서식 모션캡쳐 시스템과 광학식 모션캡쳐 시스템 및 하이브리드 위치추정 융합 시스템을 포함한다.

[0026] 상기 센서식 모션캡쳐 시스템은 속도와 위치 추정을 위한 가속도센서(Accelerometer)와, 자세 추정을 위한 자이로센서(Gyroscope)와, 상기 가속도센서와 자이로센서 신호를 분석하여 강체의 움직임을 추청하는 마이크로프로세서와, 외부 장치와 무선통신을 수행하는 무선통신모듈을 포함한다.

[0027] 상기 광학식 모션캡쳐 시스템은 강체(Rigid Body)가 부착되는 반사 마커와, 반사 마커 촬영을 통하여 강체를 추적(tracking)하여 강체의 위치와 속도를 추정하는 광학식 카메라를 포함하는데, 본 발명의 실시예에서 상기 반

사 마커는 강체에 3개가 부착된다.

[0028] 상기 하이브리드 위치추정 융합 시스템은 센서식 모션캡쳐 시스템과 광학식 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 정보를 융합하여 보다 정밀하게 강체의 위치를 추정하게 되는데, 이러한 위치 추정 정보의 융합은 하이브리드 위치 추정 융합 시스템에 탑재된 위치추정 융합 알고리즘에 의해 수행된다. 상기 위치추정 융합 알고리즘은 광학식 모션캡쳐 시스템을 통하여 추정되는 마커 위치 및 속도 정보와, 센서식 모션캡쳐 시스템을 통하여 추정되는 센서 위치와 속도 및 자세 정보의 오차값을 통합 칼만필터를 통하여 융합하여 강체의 통합위치, 속도, 자세 추정값을 산출함으로써 강체의 위치를 추정하게 된다.

[0029] 이하에서는 상기 하이브리드 위치추정 알고리즘을 통하여 강체의 위치가 추정되는 과정에 대하여 상세히 설명하기로 한다.

[0030] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 위치추정 알고리즘의 처리 흐름도를 나타낸 것이다. 도 5에 따른 위치추정 알고리즘의 동작 설명은 (a) 센서식 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 과정, (b) 광학식 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 과정, (c) 센서식 모션캡쳐 시스템 및 광학식 모션캡쳐 시스템의 위치 추적 융합 과정으로 나누어 설명하기로 한다.

[0031] **(a) 센서식 모션캡쳐 시스템의 위치 추정**

[0032] 먼저, 센서식 모션캡쳐 시스템의 모션센서에서 자이로센서와 가속도센서의 출력값을 통하여 강체의 자세와 위치를 추정하게 된다. 도 5에서 f_x, f_y, f_z 는 3차원 각 축의 가속도를 나타내고, w_x, w_y, w_z 는 3차원 각 축의 각속도를 나타내며, p_0, r_0, A_0 는 3차원 자세인 롤(roll), 피치(pitch), 요(yaw)의 초기값을 나타낸다. 상기 f_x, f_y, f_z 와 w_x, w_y, w_z 로 속도, 위치, 자세를 추정하는 과정은 도 6에 도시되어 있다.

[0033] 상기 도 6에서, 자세추정계산은 다음의 수학식 1을 사용한다.

수학식 1

[0034]
$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi\tan\theta & \cos\phi\tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi\sec\theta & \cos\phi\sec\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_x \\ w_y \\ w_z \end{bmatrix}$$

[0035] 수학식 1의 최종 추정값인 ϕ_m, λ_m, h_m 은 모션센서에서 계산한 3차원 위치를 나타내며, p_m, r_m, A_m 은 모션센서의 자세를 나타낸다.

[0036] **(b) 광학식 모션캡쳐 시스템의 위치 추정**

[0037] 광학식 모션캡쳐 시스템의 광학식 카메라에서 반사 마커의 위치를 추적하여 속도와 3차원상의 절대위치를 출력하게 되는데, 도 7은 광학식 카메라에서 반사 마커의 위치와 속도를 추적하는 과정을 나타낸 처리 흐름도이다.

[0038] 도 7에서, u_j^n, v_j^n 는 카메라로 촬영한 2차원 이미지 내의 마커 위치를 나타낸다. 또한, n은 다중 카메라의 수, j는 마커의 수를 나타낸다. 2차원 위치 행렬과 카메라 투영행렬 $P^n = (p_{11}^n, p_{12}^n, p_{13}^n, \ldots, p_{34}^n)$ 로 다음의 수학식 2를 이용하여 3차원 위치를 계산한다.

수학식 2

[0039]
$$\begin{bmatrix} p_{11}^1 - u_j^1 p_{11}^1 p_{12}^1 - u_j^1 p_{32}^1 p_{13}^1 - u_j^1 p_{33}^1 \\ p_{21}^1 - v_j^1 p_{31}^1 p_{22}^1 - v_j^1 p_{32}^1 p_{23}^1 - v_j^1 p_{33}^1 \\ \vdots \quad\quad\quad \vdots \quad\quad\quad \vdots \\ p_{11}^n - u_j^n p_{11}^n p_{12}^n - u_j^n p_{32}^n p_{13}^n - u_j^n p_{33}^n \\ p_{21}^n - v_j^n p_{31}^n p_{22}^n - v_j^n p_{32}^n p_{23}^n - v_j^n p_{33}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_r \\ \lambda_r \\ h_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_j^1 p_{34}^1 - p_{14}^1 \\ v_j^1 p_{34}^1 - p_{24}^1 \\ \vdots \\ u_j^n p_{34}^n - p_{14}^n \\ v_j^n p_{34}^n - p_{24}^n \end{bmatrix}$$

[0040] 상기 수학식 2에서, 최종 출력값인 ϕ_r, λ_r, h_r 은 마커가 구성하는 강체(rigid body)의 위치값을 추적한 결과이며, 그 위치값을 적분하여 강체의 속도 v_e, v_n, v_u 를 구한다. 속도의 e,n,u는 east(동쪽), north(북쪽), up(상) 방향의 속도를 나타낸다.

[0041] **(c) 센서식 모션캡쳐 시스템 및 광학식 모션캡쳐 시스템의 위치 추정 융합**

[0042] 상기 도 5에 도시된 바와 같이, 본 발명에서는 상기 센서식 모션캡쳐 시스템과 광학식 모션캡쳐 시스템을 융합하여 위치를 추정하기 위한 방법으로 통합 칼만필터를 설계하여 사용한다.

[0043] 본 발명에 따른 하이브리드 모션캡쳐 시스템의 칼만필터 상태모델(System Equation)은 노이즈 $Gw(t)$를 포함하여 다음의 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

[0044]
$$\delta\dot{x}(t) = F_x(t)\delta x(t) + Gw(t)$$

[0045] 위 상태모델의 입력값인 x는 다음의 수학식 4와 같이 두 시스템의 출력값의 차이와 모션센서 출력값의 센서오차를 원소로 가진다.

수학식 4

[0046]
$$x_{15\times 1} = \left[\delta r_{3\times 1}, \delta v_{3\times 1}, \epsilon_{3\times 1}, \delta w_{3\times 1}, \delta f_{3\times 1}\right]^T$$

[0047] 여기서, $\delta r = [\delta\phi, \delta\lambda, \delta h]^T$ 는 위치 오차를 나타내는 벡터이고, $\delta v = [\delta v_e, \delta v_n, \delta v_h]^T$ 는 속도 오차 벡터이며, $\epsilon = [\delta p, \delta r, \delta A]^T$ 는 자세 오차 벡터이고, $\delta w = [\delta w_x, \delta w_y, \delta w_z]^T$ 는 드리프트(오차누적)가 포함된 자이로센서 오차 벡터이며, $\delta f = [\delta f_x, \delta f_y, \delta f_z]^T$ 는 바이어스를 포함한 가속도센서의 오차 벡터를 나타낸다.

[0048] 상기 수학식 3의 상태모델에서 시간에 따라 에러를 전달하는 다이나믹 행렬인 F는 다음의 수학식 5와 같이 표현한다.

수학식 5

$$F=\begin{bmatrix} D^{-1}\delta v^l \\ -F^l\epsilon+R_b^l\delta f^b-2(\Omega_{ie}^l+\Omega_{el}^l)\delta v^l-V^l(2\delta w_{ie}^l+\delta w_{ie}^l)+\delta g^l \\ R_b(\Omega_{ib}-\Omega_{il}) \\ -\beta_w\delta w_{ib}^b+\sqrt{2\beta_w\sigma_w^2}\,w \\ -\beta_f\delta f^b+\sqrt{2\beta_f\sigma_f^2}\,w \end{bmatrix}$$

[0049]

[0050] 상기 다이나믹 행렬 F의 각 요소 중, l은 지역좌표계(Local-Level frame), e는 지구중심고정좌표계(Earth Centered Earth Fixed frame), i는 관성좌표계(Inertial-Level frame), b는 동체좌표계(Body-Level frame)를 나타낸다.

[0051] 여기에서, 위치 오차를 계산하는 $D^{-1}\delta v^l$ 는 다음의 수학식 6과 같이 표현된다.

수학식 6

$$D^{-1}\delta v^l=\begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{(R_m+h)} & 0 \\ \frac{1}{(R_n+h)\cos\phi} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix}\delta v_e \\ \delta v_n \\ \delta v_u\end{bmatrix}$$

[0052]

[0053] 여기서, h는 수직방향의 높이(height), R_m, R_n 은 자오선 동서권 중심의 지구 반지름을 나타내고, ϕ는 강체의 앞/뒤 이동을 나타낸다.

[0054] 또한, 상기 수학식 5에서 속도 오차를 계산하는 $-F^l\epsilon+R_b^l\delta f^b-2(\Omega_{ie}^l+\Omega_{el}^l)\delta v^l-V^l(2\delta w_{ie}^l+\delta w_{ie}^l)+\delta g^l$ 의 각 항은 다음의 수학식들과 같은데, 속도 오차 계산에서 3, 4, 5항은 1, 2항에 비해 매우 작은 값으로 무시할 수 있다.

[0055] 먼저, 1항은 다음의 수학식 7과 같다.

수학식 7

$$\text{1항 : } -F^l\epsilon^l=\begin{bmatrix} 0 & f_u & -f_n \\ -f_u & 0 & f_e \\ f_n & -f_e & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix}\delta p \\ \delta r \\ \delta A\end{bmatrix}$$

[0056]

[0057] 여기서, 가속도 f의 e,n,u는 east(동쪽), north(북쪽), up(상) 방향의 속도를 나타낸다.

[0058] 2항은 다음의 수학식 8과 같다.

수학식 8

[0059]
$$2\text{항} : R_b^l \delta f^b = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta f_x \\ \delta f_y \\ \delta f_z \end{bmatrix}$$

[0060] 여기서, R_b^l 은 동체좌표계에서 지역좌표계로의 변환 행렬로, 다음의 수학식 9와과 같이 표현된다.

수학식 9

[0061]
$$\begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos r\cos A - \sin r\sin p\sin A & -\sin r\cos p & \cos r\sin A + \sin r\sin p\cos A \\ \sin r\cos A + \cos r\sin p\sin A & \cos r\cos p & \sin r\sinh - \cos r\sin p\cos A \\ -\cos p\sin A & \sin p & \cos p\cos A \end{bmatrix}$$

[0062] 또한, 3항과 4항 및 5항은 다음의 수학식 10과 수학식 11 및 수학식 12와 같다.

수학식 10

[0063]
$$3\text{항} : -2(\Omega_{ie}^l + \Omega_{el}^l)\delta v^l = \begin{bmatrix} 0 & (2w_e + \dot{\lambda})\sin\phi - (2w_e + \dot{\lambda})\cos\phi \\ -(2w_e + \dot{\lambda})\sin\phi & 0 & -\dot{\phi} \\ (2w_e + \dot{\lambda})\cos\phi & \dot{\phi} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta v_e \\ \delta v_n \\ \delta v_u \end{bmatrix}$$

수학식 11

[0064]
$$4\text{항} : V^l(2\delta w_{ie}^l + \delta w_{el}^l) = \begin{bmatrix} 2w_e(v_u\sin\phi + v_n\cos\phi) + \frac{v_n\dot{\lambda}}{\cos\phi} & 0 & 0 \\ -w_e v_e\cos\phi - \frac{v_e\dot{\lambda}}{\cos\phi} & 0 & 0 \\ -2w_e v_e\sin\phi & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta\phi \\ \delta\lambda \\ \delta h \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{-v_n}{(R_n+h)} + \frac{v_n\tan\phi}{(R_N+h)} & 0 & 0 \\ \frac{-v_e\tan\phi}{(R_N+h)} & \frac{-v_u}{(R_M+h)} & 0 \\ \frac{v_e}{(R_N+h)} & \frac{v_n}{(R_M+h)} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta v_e \\ \delta v_n \\ \delta v_u \end{bmatrix}$$

수학식 12

[0065]
$$5\text{항} : \delta g^l = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{2g}{R}\delta h \end{bmatrix}$$

[0066] 한편, 상기 수학식 5에서 자세 오차를 계산하는 $R_b(\Omega_{ib} - \Omega_{il})$ 는 $-\Omega_{il}^l \epsilon^l - \delta w_{il}^l + R_b^l \delta w_{ib}^b$ 로 표현되며, 각 항은 다음의 수학식 13 내지 15와 같이 표현한다.

수학식 13

[0067]
$$1\text{항} : \begin{bmatrix} 0 & (w_e+\dot{\lambda}_e)\sin\phi-(w_e+\lambda_e)\dot{\cos}\phi \\ -(w_e+\dot{\lambda}_e)\sin\phi & 0 & -\dot{\phi} \\ (w_e+\dot{\lambda}_e)\cos\phi & \dot{\phi} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta p \\ \delta r \\ \delta A \end{bmatrix}$$

수학식 14

[0068]
$$2\text{항} : \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{(R_M+h)} & 0 \\ \frac{-1}{(R_N+h)} & 0 & 0 \\ \frac{-\tan\phi}{(R_N+h)} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta v_e \\ \delta v_n \\ \delta v_u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{-\dot{\phi}}{(R_M+h)} \\ w_e\sin\phi & 0 & -\frac{\dot{\lambda}cos\phi}{(R_N+h)} \\ -w_e\cos\phi+\frac{\dot{\lambda}}{\cos\phi} & 0 & -\frac{\dot{\lambda}sin\phi}{(R_N+h)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta\phi \\ \delta\lambda \\ \delta h \end{bmatrix}$$

수학식 15

[0069]
$$3\text{항} : \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta w_x \\ \delta w_y \\ \delta w_z \end{bmatrix}$$

[0070] 여기서, R 행렬은 위의 R_b^l 와 동일하다.

[0071] 한편, 상기 수학식 5에서 관성센서 오차를 계산하는 4행과 5행은 각각 자이로센서와 가속도센서의 오차를 계산하며, 다음의 수학식들과 같이 표현될 수 있다. 먼저, 자이로센서 오차식은 다음의 수학식 16과 같다.

수학식 16

[0072]
$$-\beta_w\delta w_{ib}^b+\sqrt{2\beta_w\sigma_w^2}\,w=\begin{bmatrix} -\beta_{wx} & 0 & 0 \\ 0 & -\beta_{wy} & 0 \\ 0 & 0 & -\beta_{wz} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \delta w_x \\ \delta w_y \\ \delta w_z \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} \sqrt{2\beta_{wx}\sigma_{wx}^2} \\ \sqrt{2\beta_{wy}\sigma_{wy}^2} \\ \sqrt{2\beta_{wz}\sigma_{wz}^2} \end{bmatrix} w(t)$$

[0073] 여기서, $\beta_{wx},\beta_{wy},\beta_{wz}$ 는 $\delta w_x,\delta w_y,\delta w_z$ 의 자기상관배열이고, $\sigma_{wx}^2,\sigma_{wy}^2,\sigma_{wz}^2$ 는 센서자체의 오차이며, ω는 가우시간 노이즈를 나타낸다.

[0074] 다음으로 가속도센서의 오차식은 다음의 수학식 17과 같다.

수학식 17

$$-\beta_f \delta f^b + \sqrt{2\beta_f \sigma_f^2}\, w = \begin{bmatrix} -\beta_{fx} & 0 & 0 \\ 0 & -\beta_{fy} & 0 \\ 0 & 0 & -\beta_{fz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta f_x \\ \delta f_y \\ \delta f_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sqrt{2\beta_{fx}\sigma_{fx}^2} \\ \sqrt{2\beta_{fy}\sigma_{fy}^2} \\ \sqrt{2\beta_{fz}\sigma_{fz}^2} \end{bmatrix} w(t)$$

[0075]

[0076] 여기서, $\beta_{fx}, \beta_{fy}, \beta_{fz}$ 는 $\delta f_x, \delta f_y, \delta f_z$ 의 자기상관배열이고, $\sigma_{fx}^2, \sigma_{fy}^2, \sigma_{fz}^2$ 는 센서자체 오차이며, ω는 가우시간 노이즈를 나타낸다.

[0077] 한편, 칼만필터의 업데이트 단계를 위한 측정 상태모델은 다음의 수학식 18과 같이 표현할 수 있다.

수학식 18

$$z = Hx + \delta\eta_p$$

[0078]

[0079] 여기에서, z와 x는 동일한 값이므로, H는 다음의 수학식 19와 같이 표현된다.

수학식 19

$$H = \begin{bmatrix} 1\,0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \\ 0\,1\,0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \\ 0\,0\,1\,0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \end{bmatrix}$$

[0080]

[0081] 따라서, 상기 측정 상태모델 z는 다음의 수학식 20과 같이 표현할 수 있다.

수학식 20

$$z = \begin{bmatrix} \phi_r - \phi_m \\ \lambda_r - \lambda_m \\ h_r - h_m \\ v_{e,0} - v_{e,m} \\ v_{n,0} - v_{n,m} \\ v_{u,0} - v_{u,m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1\,0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \\ 0\,1\,0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \\ 0\,0\,1\,0\,0\,1\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0\,0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} \delta\eta_\phi \\ \delta\eta_\lambda \\ \delta\eta_h \\ \delta\eta_{ve} \\ \delta\eta_{vn} \\ \delta\eta_{vu} \end{bmatrix}$$

[0082]

[0083] 여기서, $v_{e,m}, v_{n,m}, v_{um}$ 은 모션센서에서 추정한 속도를 나타내고, $v_{e,0}, v_{n,0}, v_{u,0}$ 은 속도의 초기값을 나타내며, $\delta\eta_{v,e}, \delta\eta_{v,n}, \delta\eta_{v,u}$ 은 초기속도의 불확실성을 표현한 것이다. 또한, ϕ_r, λ_r, h_r 는 광학식에서 추적한 위치값이고, ϕ_m, λ_m, h_m 는 모션센서에서 추정한 위치값이며, $\delta\eta_\phi, \delta\eta_\lambda, \delta\eta_h$ 는 측정한 위치의 불확실성을 나타낸다.

[0084] 본 발명에서는 이러한 상태모델을 이용하여 칼만필터를 설계하는데, 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 상태모델

을 이용하여 칼만필터가 설계되는 과정을 나타낸 처리 흐름도이다.

[0085] 도 8에서, Q는 공정 잡음인 시스템 잡음 공분산 행렬이고, R은 측정 잡음 공분산 행렬을 나타낸다.

[0086] 시간 갱신(Time Update)에서는 이전 시간에서의 x와, 두 시스템(광학식 모션캡쳐 시스템 및 센서식 모션캡쳐 시스템)의 출력값의 차이와, 센서식 모션캡쳐 시스템의 모션센서 출력값의 센서오차로 미분된 예측값을 구한다. 그리고, 모션센서에서 추정한 속도와 두 시스템의 위치 차이를 이용하여 측정치 갱신(Measurement Update)에서 측정값을 구한다.

[0087] 이렇게 구한 측정값에서 예측값을 빼줌으로서 오차 v_k 를 구하고, 이 값에 칼만이득(K_k)을 곱한 값과 이전 추정값을 더함으로서 최종 추정값 $\hat{x}_{k(+)}$ 를 구하게 된다. 또한, P_k 는 오차공분산으로 이 역시 업데이트되어 예측치 계산에 사용되게 된다.

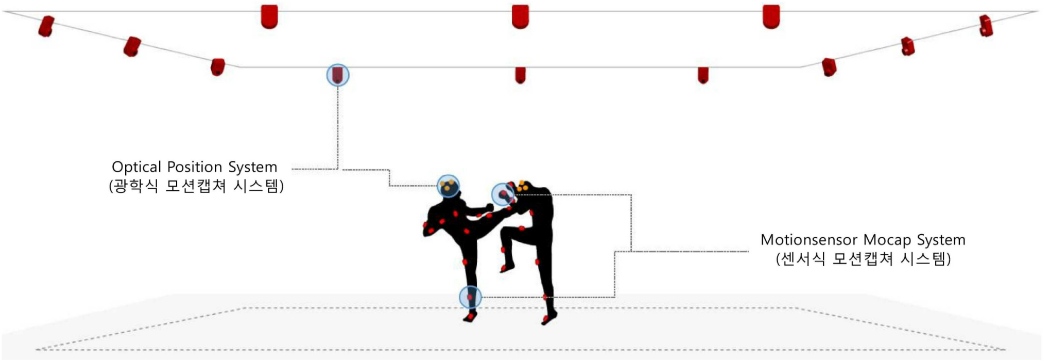
[0088] 이와 같이 본 발명에서는 광학식 모션캡쳐 시스템에서 추정한 위치와 센서식 모션캡쳐 시스템에서 추정한 위치의 오차를 통합 칼만필터를 통해서 융합하고, 통합 칼만필터에서 추정한 오차를 모션센서로 피드백하여 모션센서의 오차를 보정함으로써 정확한 강체의 위치 추정이 가능해진다. 즉, 센서식 모션캡쳐 시스템에서 추정한 속도와 위치의 오차누적을 광학식 모션캡쳐 시스템에서 추적한 마커의 위치와 속도로 보상함으로써 정확한 모션측정이 가능해진다.

[0089] 본 발명은 광학식 모션캡쳐 시스템과 센서식 모션캡쳐 시스템의 출력값이 아닌, 두 시스템의 오차를 칼만필터의 입력값으로 가지는 오차모델을 설계하여 모션센서에서 나오는 출력값에 되먹임(feedback)함으로써 오차누적을 효과적으로 보상할 수 있다. 또한, 두 시스템의 최종 출력값을 보상할 뿐만 아니라, 모션센서의 센서 오차(자이로센서, 가속도센서 오차) 또한 칼만필터의 상태변수로 설계함으로써 시간갱신(Time Update) 단계에서 정확한 예측값을 추정할 수 있게 된다.

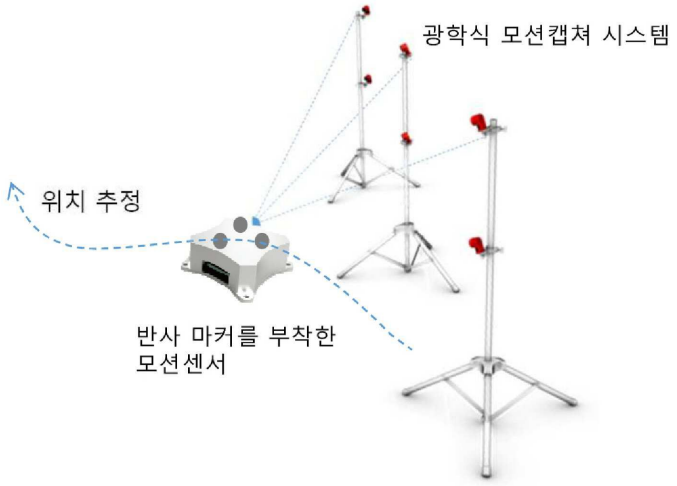
[0090] 이러한 본 발명은 상술한 실시예에 한정되는 것은 아니며 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 갖는 자에 의해 본 발명의 기술사상과 아래에 기재될 특허청구 범위의 균등범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 이루어질 수 있음은 물론이다.

도면

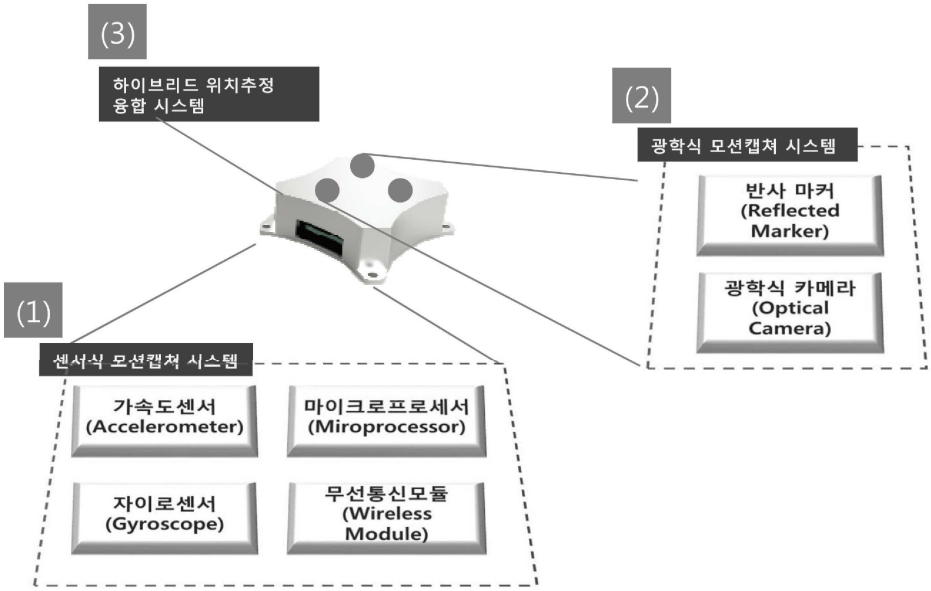
도면1



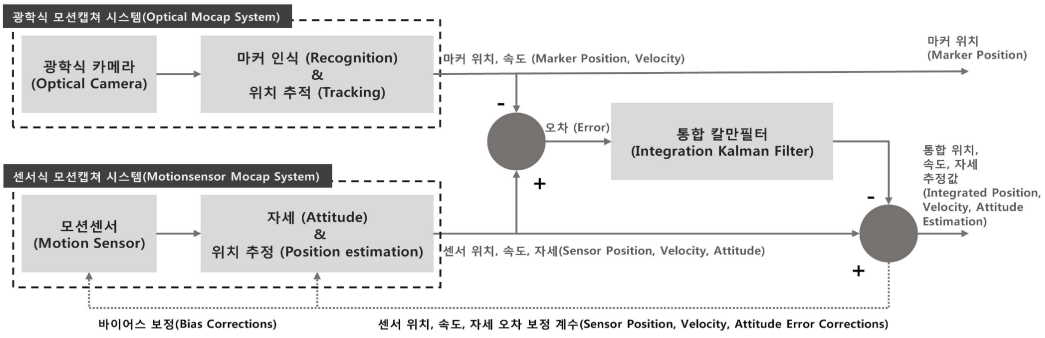
도면2


광학식 모션캡쳐 시스템
위치 추정
반사 마커를 부착한
모션센서

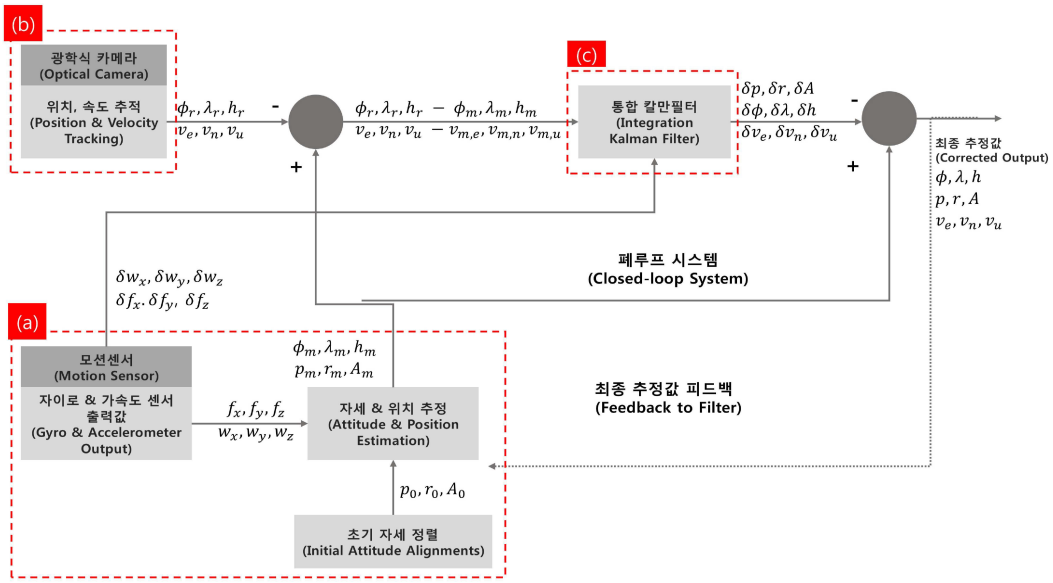
도면3


(3)
하이브리드 위치추정
융합 시스템
(2)
광학식 모션캡쳐 시스템
반사 마커
(Reflected
Marker)
광학식 카메라
(Optical
Camera)
(1)
센서식 모션캡쳐 시스템
가속도센서
(Accelerometer)
마이크로프로세서
(Miroprocessor)
자이로센서
(Gyroscope)
무선통신모듈
(Wireless
Module)

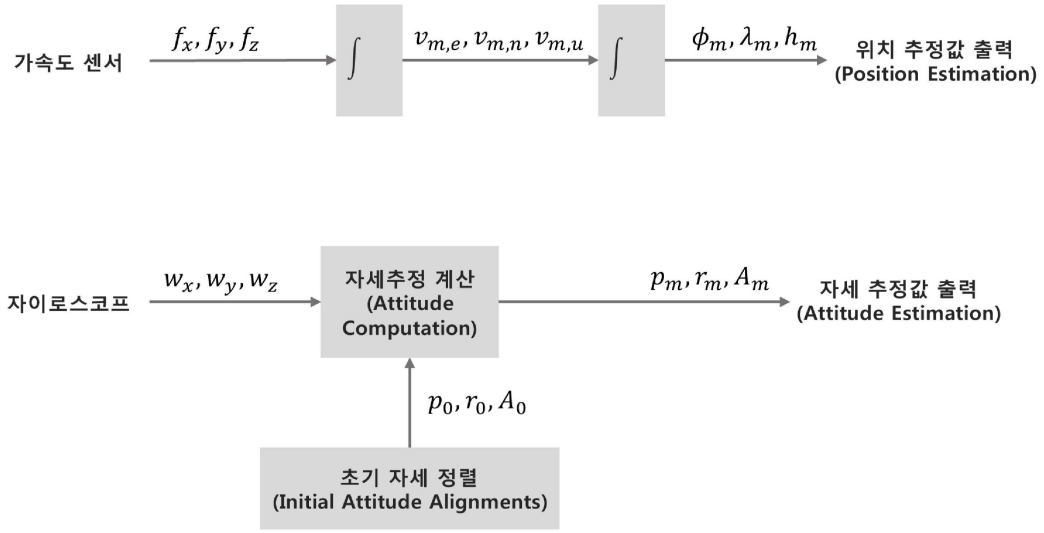
도면4


광학식 모션캡쳐 시스템(Optical Mocap System)
광학식 카메라
(Optical Camera)
마커 인식 (Recognition)
&
위치 추적 (Tracking)
마커 위치, 속도 (Marker Position, Velocity)
마커 위치
(Marker Position)
-
오차 (Error)
+
통합 칼만필터
(Integration Kalman Filter)
통합 위치,
속도, 자세
추정값
(Integrated Position,
Velocity, Attitude
Estimation)
센서식 모션캡쳐 시스템(Motionsensor Mocap System)
모션센서
(Motion Sensor)
자세 (Attitude)
&
위치 추정 (Position estimation)
센서 위치, 속도, 자세(Sensor Position, Velocity, Attitude)
-
+
바이어스 보정(Bias Corrections)
센서 위치, 속도, 자세 오차 보정 계수(Sensor Position, Velocity, Attitude Error Corrections)

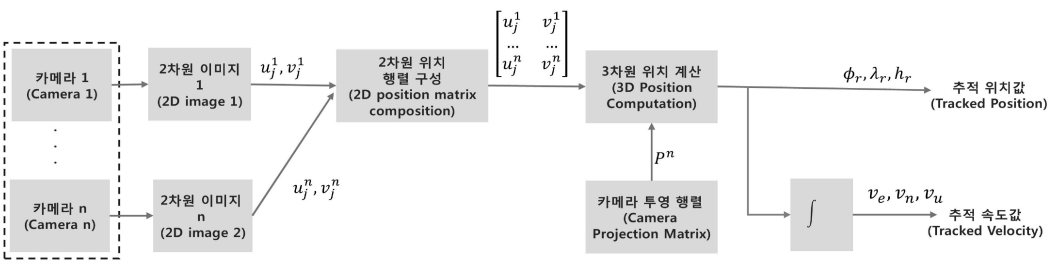
도면5


(b)
광학식 카메라
(Optical Camera)
위치, 속도 추정
(Position & Velocity Tracking)
ϕ_r, λ_r, h_r
v_e, v_n, v_u
-
+
$\phi_r, \lambda_r, h_r - \phi_m, \lambda_m, h_m$
$v_e, v_n, v_u - v_{m,e}, v_{m,n}, v_{m,u}$
(c)
통합 칼만필터
(Integration Kalman Filter)
$\delta p, \delta r, \delta A$
$\delta\phi, \delta\lambda, \delta h$
$\delta v_e, \delta v_n, \delta v_u$
-
+
최종 추정값
(Corrected Output)
ϕ, λ, h
p, r, A
v_e, v_n, v_u
폐루프 시스템
(Closed-loop System)
$\delta w_x, \delta w_y, \delta w_z$
$\delta f_x, \delta f_y, \delta f_z$
(a)
모션센서
(Motion Sensor)
자이로 & 가속도 센서 출력값
(Gyro & Accelerometer Output)
f_x, f_y, f_z
w_x, w_y, w_z
ϕ_m, λ_m, h_m
p_m, r_m, A_m
자세 & 위치 추정
(Attitude & Position Estimation)
최종 추정값 피드백
(Feedback to Filter)
p_0, r_0, A_0
초기 자세 정렬
(Initial Attitude Alignments)

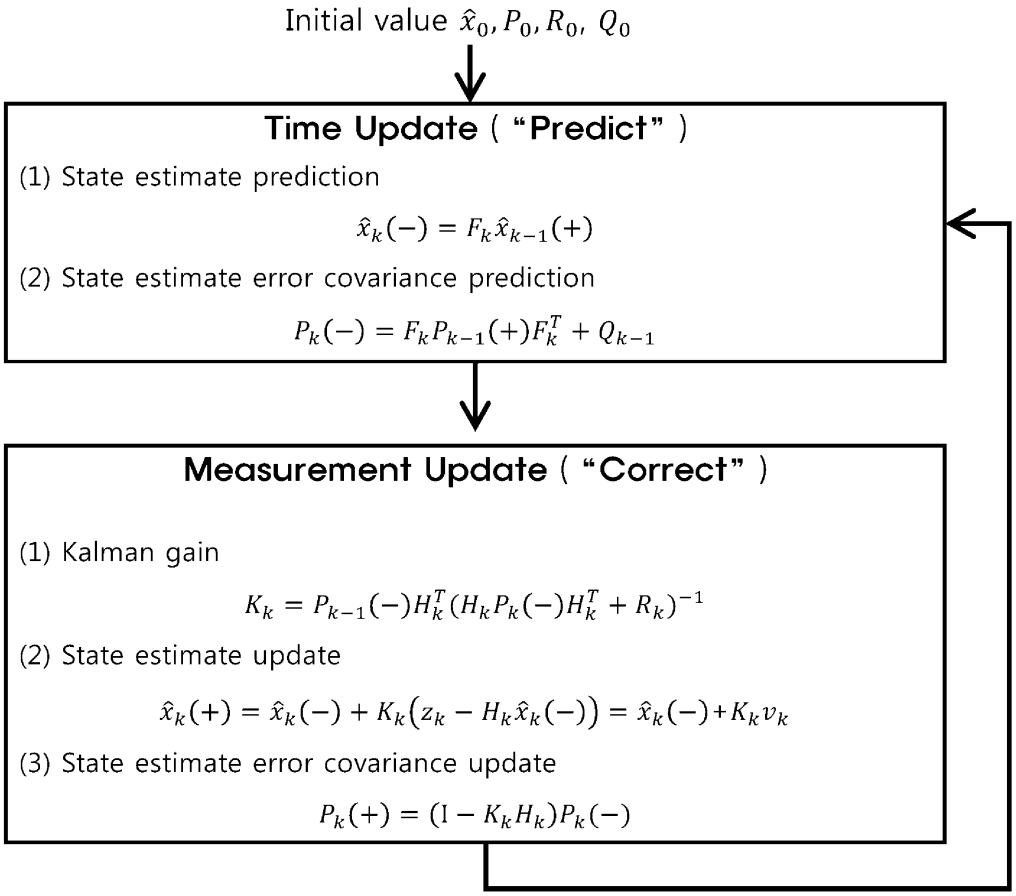
도면6


가속도 센서
f_x, f_y, f_z
$\int$
$v_{m,e}, v_{m,n}, v_{m,u}$
$\int$
ϕ_m, λ_m, h_m
위치 추정값 출력
(Position Estimation)
자이로스코프
w_x, w_y, w_z
자세추정 계산
(Attitude Computation)
p_m, r_m, A_m
자세 추정값 출력
(Attitude Estimation)
p_0, r_0, A_0
초기 자세 정렬
(Initial Attitude Alignments)

도면7


카메라 1
(Camera 1)
카메라 n
(Camera n)
2차원 이미지 1
(2D image 1)
2차원 이미지 n
(2D image 2)
u_j^1, v_j^1
u_j^n, v_j^n
2차원 위치 행렬 구성
(2D position matrix composition)
$\begin{bmatrix} u_j^1 & v_j^1 \\ \dots & \dots \\ u_j^n & v_j^n \end{bmatrix}$
3차원 위치 계산
(3D Position Computation)
P^n
카메라 투영 행렬
(Camera Projection Matrix)
ϕ_r, λ_r, h_r
추적 위치값
(Tracked Position)
$\int$
v_e, v_n, v_u
추적 속도값
(Tracked Velocity)

도면8


Initial value $\hat{x}_0, P_0, R_0, Q_0$
Time Update ("Predict")
(1) State estimate prediction
$\hat{x}_k(-) = F_k\hat{x}_{k-1}(+)$
(2) State estimate error covariance prediction
$P_k(-) = F_k P_{k-1}(+)F_k^T + Q_{k-1}$
Measurement Update ("Correct")
(1) Kalman gain
$K_k = P_{k-1}(-)H_k^T(H_k P_k(-)H_k^T + R_k)^{-1}$
(2) State estimate update
$\hat{x}_k(+) = \hat{x}_k(-) + K_k(z_k - H_k\hat{x}_k(-)) = \hat{x}_k(-) + K_k v_k$
(3) State estimate error covariance update
$P_k(+) = (I - K_k H_k)P_k(-)$