



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0058641
(43) 공개일자 2024년05월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 19/49 (2010.01) G01C 21/00 (2006.01)
G01C 21/16 (2006.01) G01C 21/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 19/49 (2023.05)
G01C 21/005 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0139571
(22) 출원일자 2022년10월26일
심사청구일자 2022년10월26일

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
송진우
서울특별시 강남구 도곡로 320 래미안도곡카운터
105동 1702호
김웅주
충청남도 천안시 서북구 천안대로 999-7 이안더센
트럴 103-904호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김현승

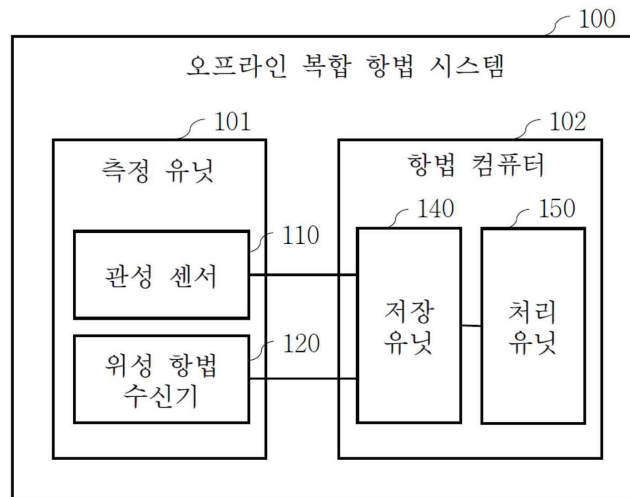
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 데이터 융합 기반의 향상된 복합 항법

(57) 요약

복합 항법 시스템을 사용하여 가동체의 상태의 추정을 수행하는 방법이 제공된다. 제공된 방법은, 시간 기간 내의 특정 시점에 대해 가동체의 상태의 스무딩된 추정치를 생성하기 위해, 시간 기간에 대해 주어진 측정 데이터를 사용하여 가동체의 상태의 고정 간격 스무딩을 수행하는 단계(측정 데이터는 가동체의 관성 센서에 의해 주어진 관성 측정 데이터 및 가동체의 위성 항법 수신기에 의해 주어진 위성 측정 데이터를 포함함)와, 특정 시점에 대해 위성 측정 데이터가 주어지지 않은 경우, 특정 시점에 대해, 가동체의 상태의 스무딩된 추정치를 사용하는 것 대신에 또는 이에 더하여, 제1 상태 전이 방정식 및 제2 상태 전이 방정식에 기반하여, 가동체의 상태의 최종 추정치를 생성하는 단계(제1 상태 전이 방정식 및 제2 상태 전이 방정식은 관성 측정 데이터를 사용하여 가동체의 상태를 각각 시간상 정방향 및 역방향으로 전파함)를 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01C 21/165 (2023.08)

G01C 21/18 (2013.01)

G01C 21/188 (2023.08)

(72) 발명자

김용훈

서울특별시 광진구 능동로19길 7-10 정익제이타워
502호

박소진

서울특별시 광진구 광나루로14길 22 502호

이주한

서울특별시 광진구 광나루로15길 61 드림빌 504호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711159975
과제번호	ITP-2022-2018-0-01423-005
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	대학ICT연구센터육성지원사업
연구과제명	지능형 비행로봇 융합기술 연구
기 여 율	50/100
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345347042
과제번호	2020R1A6A1A03038540
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	대학중점연구소지원사업
연구과제명	차세대 자율지능 무인비행체 핵심기술개발
기 여 율	50/100
과제수행기관명	세종대학교
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

복합 항법 시스템을 사용하여 가동체(movable object)의 상태의 추정을 수행하는 방법으로서,

시간 기간(time period) 내의 특정 시점에 대해 상기 상태의 스무딩된 추정치(smoothed estimate)를 생성하기 위해, 상기 시간 기간에 대해 주어진 측정 데이터를 사용하여 상기 상태의 고정 간격 스무딩(fixed-interval smoothing)을 수행하는 단계 - 상기 측정 데이터는 상기 가동체의 관성 센서에 의해 주어진 관성 측정 데이터 및 상기 가동체의 위성 항법 수신기에 의해 주어진 위성 측정 데이터를 포함함 - 와,

상기 특정 시점에 대해 상기 위성 측정 데이터가 주어지지 않은 경우, 상기 특정 시점에 대해, 상기 스무딩된 추정치를 사용하는 것 대신에 또는 상기 스무딩된 추정치를 사용하는 것에 더하여, 제1 상태 전이 방정식(state transition equation) 및 제2 상태 전이 방정식에 기반하여, 상기 상태의 최종 추정치를 생성하는 단계를 포함 하되, 상기 제1 상태 전이 방정식 및 상기 제2 상태 전이 방정식은 상기 관성 측정 데이터를 사용하여 상기 상태를 각각 시간상 정방향 및 역방향으로 전파하는(propagate),

방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 상태는 상기 가동체의 위치, 속도 및 자세 중 적어도 하나를 포함하는,

방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 고정 간격 스무딩을 수행하는 단계는, 시간상 정방향으로 정방향 필터를 구동하여 상기 상태의 또는 상기 상태의 오차의 정방향 추정치를 생성하는 단계와, 시간상 역방향으로 역방향 필터를 구동하여 상기 상태의 또는 상기 상태의 오차의 역방향 추정치를 생성하는 단계와, 상기 정방향 추정치 및 상기 역방향 추정치의 조합을 사용하여 상기 스무딩된 추정치를 생성하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 고정 간격 스무딩을 수행하는 단계는 라우흐-통-스트리벨 스무더(Rauch-Tung-Striebel smoother)를 구동하여 상기 스무딩된 추정치를 생성하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 최종 추정치를 생성하는 단계는, 상기 특정 시점에 대해, 상기 상태의 제1 추정치 및 제2 추정치를 각각 상기 제1 상태 전이 방정식 및 상기 제2 상태 전이 방정식에 기반하여 생성하는 단계와, 상기 제1 추정치 및 상기 제2 추정치를 상기 최종 추정치로 조합하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 고정 간격 스무딩을 수행하는 단계는 상기 상태의 전이를 위한 프로세스 모델(process model)을 기반으로 상기 측정 데이터를 처리하여 상기 스무딩된 추정치의 오차 공분산을 생성하는 단계를 포함하고, 상기 최종 추정치를 생성하는 단계는, 상기 스무딩된 추정치의 상기 오차 공분산을 사용하는 것 대신에 또는 상기 스무딩된 추정치의 상기 오차 공분산을 사용하는 것에 더하여, 상기 프로세스 모델에 기반하여 상기 최종 추정치의 오차 공분산을 생성하는 단계를 더 포함하고, 상기 제1 추정치 및 상기 제2 추정치를 조합하는 단계는 상기 최종 추정치를 상기 제1 추정치 및 상기 제2 추정치의 가중화된 합(weighted sum)으로서 생성하기 위해 상기 최종 추정치의 상기 오차 공분산을 사용하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 최종 추정치의 상기 오차 공분산을 생성하는 단계는, 상기 특정 시점에 대해, 제1 오차 공분산 및 제2 오차 공분산을 각각 제1 시간 갱신 방정식 및 제2 시간 갱신 방정식에 기반하여 생성하는 단계를 포함하고, 상기 제1 시간 갱신 방정식 및 상기 제2 시간 갱신 방정식은 상기 추정의 오차 공분산을 각각 시간상 정방향 및 역방향으로 전파하도록 상기 프로세스 모델에 따라 정의되고, 상기 최종 추정치의 상기 오차 공분산을 사용하는 단계는 상기 제1 추정치 및 상기 제2 추정치를 가중화하기 위해 각각 상기 제1 오차 공분산 및 상기 제2 오차 공분산을 사용하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 위성 항법 수신기에 의해 상기 특정 시점에 대해 상기 위성 측정 데이터가 주어진 경우, 상기 스무딩된 추정치를 상기 최종 추정치로서 설정하는 단계를 더 포함하는

방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 위성 항법 수신기에 의해 상기 특정 시점에 대해 상기 위성 측정 데이터가 주어진 경우, 상기 특정 시점에 대해 주어진 상기 위성 측정 데이터가 양호한 품질을 갖는지를, 상기 상태의 예측 및 상기 위성 측정 데이터 간의 제1 비교, 상기 상태의 상기 추정 및 상기 위성 측정 데이터 간의 제2 비교, 또는 상기 제1 비교 및 상기 제2 비교 양자 모두에 기반하여 판정하는 단계 - 상기 예측은 상기 복합 항법 시스템에 포함된 관성 항법 시스템(Inertial Navigation System: INS)에 따라 행해짐 - 와,

상기 특정 시점에 대해 주어진 상기 위성 측정 데이터가 양호한 품질을 갖지 않는다고 판정된 경우, 상기 특정 시점에 대해 주어진 상기 위성 측정 데이터를 사용하지 않고서 상기 상태의 상기 추정을 수행하는 것을 반복하는 단계를 더 포함하는

방법.

청구항 10

컴퓨터 프로세서에 의해 실행되는 경우에 상기 컴퓨터 프로세서로 하여금 제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 수행하게 하는 컴퓨터 실행가능 명령어가 저장된 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 11

컴퓨팅 장치로서,

프로세서와,

메모리를 포함하되, 상기 메모리는 복합 항법 시스템에 기반하여 가동체의 상태의 추정을 수행하기 위해 상기 프로세서에 의해 실행가능한 컴퓨터 프로그램 명령어의 세트로서 인코딩되되, 컴퓨터 프로그램 명령어의 상기 세트는,

시간 기간 내의 특정 시점에 대해 상기 상태의 스무딩된 추정치를 생성하기 위해, 상기 시간 기간에 대해 주어진 측정 데이터를 사용하여 상기 상태의 고정 간격 스무딩을 수행하는 명령어 - 상기 측정 데이터는 상기 가동체의 관성 센서에 의해 주어진 관성 측정 데이터 및 상기 가동체의 위성 항법 수신기에 의해 주어진 위성 측정 데이터를 포함함 - 와,

상기 특정 시점에 대해 상기 위성 측정 데이터가 주어지지 않은 경우, 상기 특정 시점에 대해, 상기 스무딩된 추정치를 사용하는 것 대신에 또는 상기 스무딩된 추정치를 사용하는 것에 더하여, 제1 상태 전이 방정식 및 제2 상태 전이 방정식에 기반하여, 상기 상태의 최종 추정치를 생성하는 명령어를 포함하되, 상기 제1 상태 전이 방정식 및 상기 제2 상태 전이 방정식은 상기 관성 측정 데이터를 사용하여 상기 상태를 각각 시간상 정방향 및 역방향으로 전파하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 상태는 상기 가동체의 위치, 속도 및 자세 중 적어도 하나를 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 고정 간격 스무딩을 수행하는 명령어는, 시간상 정방향으로 정방향 필터를 구동하여 상기 상태의 또는 상기 상태의 오차의 정방향 추정치를 생성하는 명령어와, 시간상 역방향으로 역방향 필터를 구동하여 상기 상태의 또는 상기 상태의 오차의 역방향 추정치를 생성하는 명령어와, 상기 정방향 추정치 및 상기 역방향 추정치의 조합을 사용하여 상기 스무딩된 추정치를 생성하는 명령어를 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 고정 간격 스무딩을 수행하는 명령어는 라우흐-퉁-스트리벨 스무더(Rauch-Tung-Striebel smoother)를 구동하여 상기 스무딩된 추정치를 생성하는 명령어를 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 최종 추정치를 생성하는 명령어는, 상기 특정 시점에 대해, 상기 상태의 제1 추정치 및 제2 추정치를 각각 상기 제1 상태 전이 방정식 및 상기 제2 상태 전이 방정식에 기반하여 생성하는 명령어와, 상기 제1 추정치 및 상기 제2 추정치를 상기 최종 추정치로 조합하는 명령어를 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 고정 간격 스무딩을 수행하는 명령어는 상기 상태의 전이를 위한 프로세스 모델을 기반으로 상기 측정 데이터를 처리하여 상기 스무딩된 추정치의 오차 공분산을 생성하는 명령어를 포함하고, 상기 최종 추정치를 생성하는 명령어는, 상기 스무딩된 추정치의 상기 오차 공분산을 사용하는 것 대신에 또는 상기 스무딩된 추정치의

상기 오차 공분산을 사용하는 것에 더하여, 상기 프로세스 모델에 기반하여 상기 최종 추정치의 오차 공분산을 생성하는 명령어를 더 포함하고, 상기 제1 추정치 및 상기 제2 추정치를 조합하는 명령어는 상기 최종 추정치를 상기 제1 추정치 및 상기 제2 추정치의 가중화된 합으로서 생성하기 위해 상기 최종 추정치의 상기 오차 공분산을 사용하는 명령어를 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 최종 추정치의 상기 오차 공분산을 생성하는 명령어는, 상기 특정 시점에 대해, 제1 오차 공분산 및 제2 오차 공분산을 각각 제1 시간 갱신 방정식 및 제2 시간 갱신 방정식에 기반하여 생성하는 명령어를 포함하고, 상기 제1 시간 갱신 방정식 및 상기 제2 시간 갱신 방정식은 상기 추정의 오차 공분산을 각각 시간상 정방향 및 역방향으로 전파하도록 상기 프로세스 모델에 따라 정의되고, 상기 최종 추정치의 상기 오차 공분산을 사용하는 명령어는 상기 제1 추정치 및 상기 제2 추정치를 가중화하기 위해 각각 상기 제1 오차 공분산 및 상기 제2 오차 공분산을 사용하는 명령어를 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 18

제11항에 있어서,

컴퓨터 프로그램 명령어의 상기 세트는, 상기 위성 항법 수신기에 의해 상기 특정 시점에 대해 상기 위성 측정 데이터가 주어진 경우, 상기 스무딩된 추정치를 상기 최종 추정치로서 설정하는 명령어를 더 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 19

제11항에 있어서,

컴퓨터 프로그램 명령어의 상기 세트는,

상기 위성 항법 수신기에 의해 상기 특정 시점에 대해 상기 위성 측정 데이터가 주어진 경우, 상기 특정 시점에 대해 주어진 상기 위성 측정 데이터가 양호한 품질을 갖는지를, 상기 상태의 예측 및 상기 위성 측정 데이터 간의 제1 비교, 상기 상태의 상기 추정 및 상기 위성 측정 데이터 간의 제2 비교, 또는 상기 제1 비교 및 상기 제2 비교 양자 모두에 기반하여 판정하는 명령어 - 상기 예측은 상기 복합 항법 시스템에 포함된 관성 항법 시스템(Inertial Navigation System: INS)에 따라 행해짐 - 와,

상기 특정 시점에 대해 주어진 상기 위성 측정 데이터가 양호한 품질을 갖지 않는다고 판정된 경우, 상기 특정 시점에 대해 주어진 상기 위성 측정 데이터를 사용하지 않고서 상기 상태의 상기 추정을 수행하는 것을 반복하는 명령어를 더 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 20

복합 항법 시스템으로서,

가동체 내에 마련된 관성 센서와,

상기 가동체 내에 마련된 위성 항법 수신기와,

동작을 수행함으로써 상기 가동체의 상태를 추정하는 항법 컴퓨터를 포함하되, 상기 동작은,

시간 기간 내의 특정 시점에 대해 상기 상태의 스무딩된 추정치를 생성하기 위해, 상기 시간 기간에 대해 주어진 측정 데이터를 사용하여 상기 상태의 고정 간격 스무딩을 수행하는 것 - 상기 측정 데이터는 상기 관성 센서에 의해 주어진 관성 측정 데이터 및 상기 위성 항법 수신기에 의해 주어진 위성 측정 데이터를 포함함 - 과,

상기 특정 시점에 대해 상기 위성 측정 데이터가 주어지지 않은 경우, 상기 특정 시점에 대해, 상기 스무딩된

추정치를 사용하는 것 대신에 또는 상기 스무딩된 추정치를 사용하는 것에 더하여, 제1 상태 전이 방정식 및 제2 상태 전이 방정식에 기반하여, 상기 상태의 최종 추정치를 생성하는 것을 포함하되, 상기 제1 상태 전이 방정식 및 상기 제2 상태 전이 방정식은 상기 관성 측정 데이터를 사용하여 상기 상태를 각각 시간상 정방향 및 역방향으로 전파하는,

복합 항법 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 복합 항법 시스템(integrated navigation system)을 사용하여 가동체(movable object)의 상태(state)를 추정하는 것에 관련되고, 더욱 구체적으로, 데이터 융합(data fusion)에 기반하여 그러한 복합 항법을 향상시키는 것에 관련된다.

배경 기술

[0002] 센서, 모바일 로봇 등에 관한 각종 기술이 발전함에 따라 더 많은 영역에서 다양한 항법 시스템, 예컨대, 관성 항법 시스템(Inertial Navigation System: INS), 글로벌 항법 위성 시스템(Global Navigation Satellite System: GNSS), GNSS/INS 복합 항법 시스템, 기타 등등이 적용되고 있다.

[0003] 특히, 시설 점검(가령, 가스 배관의 점검), 지도 제작 등의 산업 분야에서는 기준 항법 정보(reference navigation information)를 생성하기 위해 오프라인 항법 시스템(offline navigation system), 예컨대, 오프라인 GNSS/INS 복합 항법 시스템이 사용될 수 있다. 오프라인 GNSS/INS 항법 시스템에서 INS 오차(이는 일반적으로 시간이 경과함에 따라 발산함)를 추정하고 보상하기 위한 하나의 주요 방안은 확장 칼만 라우흐-통-스트리벨 스무더(Extended Kalman Rauch-Tung-Striebel Smoother: EKRTSS)이다. EKRTSS는 고정 간격(fixed-interval) 스무더인데, INS 오차를 추정하기 위해 그러한 추정이 수행될 시간 기간(time period) 내의 모든 GNSS 측정치를 사용한다. 따라서, EKRTSS는 구간 내의 모든 GNSS 측정치의 품질이 양호하다면 더 정확한 추정을 산출할 수 있는 반면, 일부 GNSS 측정치라도 품질이 저하된 경우에는 추정치 전체에 부정확성을 야기할 수 있다. 또한, GNSS 측정치 없이 INS 측정치만으로 항법 정보를 생성하는 시간 기간이 길수록 INS 오차의 발산이 커질 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 데이터 융합 기반의 향상된 복합 항법이 본 문서에 개시된다.

과제의 해결 수단

[0005] 예에서, 복합 항법 시스템(integrated navigation system)을 사용하여 가동체(movable object)의 상태(state)의 추정을 수행하는 방법은 다음을 포함한다: 시간 기간(time period) 내의 특정 시점(time point)에 대해 가동체의 상태의 스무딩된 추정치(smoothed estimate)를 생성하기 위해, 시간 기간에 대해 주어진 측정 데이터를 사용하여 가동체의 상태의 고정 간격 스무딩(fixed-interval smoothing)을 수행하는 단계(측정 데이터는 가동체의 관성 센서(inertial sensor)에 의해 주어진 관성 측정 데이터 및 가동체의 위성 항법 수신기(satellite navigation receiver)에 의해 주어진 위성 측정 데이터를 포함함); 및 특정 시점에 대해 위성 측정 데이터가 주어지지 않은 경우, 특정 시점에 대해, 가동체의 상태의 스무딩된 추정치를 사용하는 것 대신에 또는 이에 더하여, 제1 상태 전이 방정식 및 제2 상태 전이 방정식에 기반하여, 가동체의 상태의 최종 추정치(final estimate)를 생성하는 단계(제1 상태 전이 방정식 및 제2 상태 전이 방정식은 관성 측정 데이터를 사용하여 가동체의 상태를 각각 시간상 정방향(forward) 및 역방향(backward)으로 전파함(propagate)).

[0006] 진술된 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

[0007] 본 개시에 따르면, 순방향 및 역방향 INS 상태 전이를 사용하는 데이터 융합을 통해 장기간 GNSS 측정치가 없더라도 항법 해의 정확성을 개선할 수 있다.

[0008] 본 개시에 따르면, 수신된 위성 측정 데이터의 품질이 양호하지 않은 경우에 이를 배제하여 데이터 융합 기반의 오프라인 복합 항법을 재수행함으로써 더 정제된 항법 해를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 가동체의 오프라인 복합 항법 시스템의 예를 보여주는 블록도이다.

도 2는 도 1의 가동체를 위한 항법 해의 계산의 예시적인 흐름을 보여준다.

도 3은 도 2의 예시적인 항법 해 계산을 위한 고정 간격 스무딩의 예시적인 흐름을 보여준다.

도 4는 도 3의 필터링을 위한 예시적인 모델을 보여준다.

도 5는 도 2의 예시적인 항법 해 계산의 오차를 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 복합 항법 시스템을 사용하여 가동체의 상태의 추정을 수행하는 프로세스의 예를 보여주는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 본 개시에서 사용되는 다양한 용어는 본 문서에서의 기능을 고려하여 상용 용어의 용어법으로부터 선택되는데, 이는 당업자의 의도, 준례, 또는 새로운 기술의 출현에 따라서 달리 인식될 수 있다. 특정한 사례에서, 몇몇 용어에는 상세한 설명에서 개진된 바와 같이 의미가 주어질 수 있다. 따라서, 본 문서에서 사용되는 용어는, 단순히 그 명칭에 의해서가 아니라, 본 개시의 맥락에서 그 용어가 갖는 의미와 연관되게 정의되어야 한다.

[0011] 본 문서에서 용어 "포함하다", "가지다" 등은 이후에 열거된 요소, 예컨대, 어떤 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 정보 또는 이들의 조합의 존재를 명시하는 경우에 사용된다. 달리 표시되지 않는 한, 이런 용어 및 이의 변형은 다른 요소의 존재 또는 추가를 배제하도록 의도되지 않는다.

[0012] 본 문서에서 사용되는 바와 같이, 용어 "제1", "제2" 등은 몇 개의 서로 닮은 요소를 식별하도록 의도된다. 달리 기재되지 않는 한, 그러한 용어는 이들 요소의 또는 이들의 사용의 특정한 순서와 같은 한정을 부과하도록 의도된 것이 아니라, 단지 여러 요소를 따로따로 지칭하기 위해 사용된다. 예를 들면, 어떤 요소가 일례에서 용어 "제1"로써 참조될 수 있는 한편 동일한 요소가 다른 예에서 "제2" 또는 "제3"과 같은 상이한 서수로써 참조될 수 있다. 그러한 예에서, 이들 용어는 본 개시의 범위를 한정하지 않는 것이다. 또한, 여러 요소의 리스트에서 용어 "및/또는"을 사용하는 것은 열거된 항목 중 임의의 하나 또는 복수 개를 비롯하여 이들 항목의 모든 가능한 조합을 포함한다. 나아가, 단수 형태의 표현은 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 복수 형태의 의미를 포함한다.

[0013] 첨부된 도면을 참조하여 본 개시의 소정의 예가 이제 상세히 기술될 것이다. 다만, 본 개시는 많은 상이한 형태로 체현될 수 있으며, 본 문서에 개진된 예에 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다. 오히려, 이들 예는 본 개시의 범위의 더 나은 이해를 제공하기 위해서 주어지는 것이다.

[0014] 도 1은 가동체의 오프라인 복합 항법 시스템 (100)의 예를 보여주는 블록도이다. 가동체의 예는 시설의 점검을 위해 시설 내에서 수행될 수 있는 기구(가령, 파이프라인 점검 게이지(Pipeline Inspection Gauge: PIG)), 모바일 로봇(가령, 바퀴 달린(wheeled) 모바일 로봇), 이동체(가령, 무인 이동체(Unmanned Vehicle: UV)), 기타 등등을 포함한다.

[0015] 도 1의 오프라인 복합 항법 시스템(100)은 가동체의 동적 모델을 사용하여 데드 레커닝(Dead Reckoning: DR) 방식으로 항법 정보(이는, 예컨대, 가동체의 위치, 속도 및 자세를 나타냄)를 산출하는 메커니즘과 함께, 위성 항법 시스템, 특히 글로벌 포지셔닝 시스템(Global Positioning System: GPS)과 같은 GNSS로부터 보조 정보를 수신하고 이를 항법 정보의 산출에 또한 사용하는 메커니즘을 갖는 GNSS/INS 복합 항법 시스템일 수 있다.

[0016] 도 1의 예에서, 오프라인 복합 항법 시스템(100)은 복수의 측정 유닛(101) 및 항법 컴퓨터(102)를 포함한다. 도시된 바와 같이, 복수의 측정 유닛(101)은 관성 센서(inertial sensor)(110)(가령, 관성 측정 유닛(Inertial Measurement Unit: IMU)) 및 위성 항법 수신기(120)(가령, GNSS 수신기)를 포함하고, 항법 컴퓨터(102)는 저장 유닛(storage unit)(140) 및 처리 유닛(processing unit)(150)을 포함한다. 오프라인 복합 항법 시스템(100)의 다른 예시적인 구현이 또한 고려된다. 예를 들어, 오프라인 복합 항법 시스템(100)은 도시되지 않은 추가적인

컴포넌트, 예컨대, 다른 타입의 센서를 또한 포함할 수 있다.

- [0017] 도시된 예에서, 관성 센서(110)는 가동체의 연관된 물리적 양을 감지하고 이를 나타내는 관성 측정 데이터를 제공한다. 예를 들어, 관성 센서(110)는 각속도 측정 데이터가 실린 신호를 출력하는 자이로스코프(gyroscope)(가령, 3축 자이로스코프) 및/또는 가속도 측정 데이터가 실린 신호를 출력하는 가속도계(accelerometer)(가령, 3축 가속도계)를 포함할 수 있다.
- [0018] 도시된 예에서, 위성 항법 수신기(120)는 항법 위성으로부터 위성 항법 신호를 수신하고 이를 기반으로 위성 측정 데이터를 제공한다. 예를 들어, 위성 항법 수신기(120)는 위성 항법 수신기(110)에 의해 관측가능한 가시 위성 및 위성 항법 수신기(110) 간의 의사거리(pseudorange) 및/또는 의사거리율(pseudorange rate) 및/또는 위성 항법 수신기(110)의 위도, 경도 및/또는 방위각과 같은 위성 측정 데이터가 실린 신호를 출력할 수 있다.
- [0019] 도시된 예에서, 복수의 측정 유닛(101) 각각은 가동체 내에 마련된다. 또한, 항법 컴퓨터(102)는 가동체 내에 마련될 수 있거나 가동체와는 별개일 수 있다.
- [0020] 도시된 예에서, 저장 유닛(140)은 다양한 정보를 저장한다. 예를 들어, 저장 유닛(140)은 비일시적(non-transitory) 형태로 데이터를 저장하는 컴퓨터 판독가능 저장 매체(computer readable storage medium)를 포함할 수 있다. 그러므로, 저장 유닛(140)은 내부에 다양한 정보, 예컨대, 처리 유닛(150)에 의해 실행될 명령어의 세트 및/또는 다른 정보가 저장될 수 있다.
- [0021] 몇몇 예시적인 시나리오에서, 복수의 측정 유닛(101) 각각은 소정의 시간 기간(time period)에 걸쳐서 각자의 측정 데이터를 출력할 수 있는데, 이러한 주어진 측정 데이터는 (예컨대, 실시간으로) 저장 유닛(140)에 저장될 수 있거나, (예컨대, 실시간으로) 별개의 저장 유닛에 저장된 후에 이로부터 (예컨대, 일괄 처리(batch processing)로서) 저장 유닛(140)에 저장될 수 있다.
- [0022] 도 1의 예에서, 처리 유닛(150)은 저장 유닛(140)에 저장된 측정 데이터를 인출하고 이를 사용하여 가동체를 위한 항법 해를 계산한다. 그러한 항법 해 계산은 어떤 시점까지의 측정으로부터 해당 시점에서의 가동체의 위치, 속도 및/또는 자세 등의 상태를 추정하는 것과 같은 정방향 필터링(forward filtering)뿐만 아니라, 특히, 나중의 시점에서의 측정으로부터 먼지의 시점에서의 가동체의 상태를 추정하는 것과 같은 역방향 필터링(backward filtering)을 수반할 수 있다. 예를 들어, 처리 유닛(150)은 본 문서에 기술된 동작을 수행하기 위해 프로세서(processor) 또는 다른 처리 회로(processing circuitry)로써 구현될 수 있다.
- [0023] 이제, 도 2 내지 도 5를 참조하여, 가동체를 위한 항법 해를 구하는 예시적인 항법 필터링이 상세히 논의된다.
- [0024] 도 2는 처리 유닛(150)이 다음과 같은 동작을 수행할 수 있음을 보여준다: 블록(210)에 의해 나타내어진 바와 같이, 각각 관성 센서(110) 및 위성 항법 수신기(120)에 의해 주어진 관성 측정 데이터 및 위성 측정 데이터를 사용하여 고정 간격 스무딩(fixed-interval smoothing)을 수행함으로써 스무딩된 항법 해를 계산하는 것; 그리고, 블록(220)에 의해 나타내어진 바와 같이, 관성 측정 데이터 및 스무딩된 항법 해를 사용하여 데이터 융합(data fusion)을 수행함으로써 최종 항법 해를 계산하는 것.
- [0025] 우선, 블록(210)에서, 처리 유닛(150)은 시간 기간에 대해 주어진 관성 측정 데이터 및 위성 측정 데이터를 사용하여 가동체의 상태 x (이는 위치, 속도 및/또는 자세를 포함함)의 고정 간격 스무딩을 수행함으로써 가동체를 위한 스무딩된 항법 해 x_s 를 제공할 수 있다. 고정 간격 스무딩은 또한 항법 해 x_s 의 오차 공분산 P_s 을 계산하는 것을 수반할 수 있다.
- [0026] 예를 들어, 가동체의 상태 x 는 다음과 같이 주어질 수 있다.

수학식 1

$$x = [p^T \ v^T \ \Phi^T]^T$$

[0027]

[0028] 여기서 p 는 가동체의 위치를 나타내는 벡터이고, v 는 가동체의 속도를 나타내는 벡터이고, Φ 는 가동체

의 자세를 나타내는 벡터이다. 또한, 관성 측정 데이터는 자이로스코프로부터의 각속도 측정 데이터 $w_{ib}^b = [w_x \ w_y \ w_z]$ 및/또는 가속도계로부터의 가속도 측정 데이터 $f^b = [f_x \ f_y \ f_z]$ 를 포함

할 수 있고, 위성 측정 데이터는 GNSS 수신기를 통해 획득된 위치 데이터 p_{GNSS} 를 포함할 수 있다.

[0029] 시간 기간에 대해 관성 측정 데이터 및 위성 측정 데이터가 주어지면, 처리 유닛(150)은 측정 데이터 전부를 프로세스 모델(process model) 및 측정 모델(measurement model)에 따라 처리하여 가동체의 추정된 상태 x_s 및 그러한 추정에서의 오차의 공분산 P_s 을 생성할 수 있는데, 프로세스 모델은 가동체의 상태의 전이(transition)를 나타내고, 측정 모델은 가동체의 상태와 측정 데이터 간의 관계를 나타낸다.

[0030] 본의의 편의상, 시간 기간 내의 특정 시점 k 에 대해 자이로스코프로부터의 가속도 측정 데이터 $w_{ib,k}^b$ 및 가속도계로부터의 가속도 측정 데이터 f_k^b 가 주어진다고 가정하자(여기서 $k = 1, 2, \dots, N$). 본 문서에서 시점 k 에 대한 어떤 변수의 값을 나타내기 위해 해당 변수의 아래첨자로서 k 가 사용되며, 아래첨자 $k-1$ 및 $k+1$ 도 유사한 의미를 갖는다는 점이 이해될 것이다.

[0031] 예를 들어, 도 3에 도시된 바와 같이, 고정 간격 스무딩은 정방향 필터(forward filter)(310)를 시간상 정방향으로 구동하는 것, 역방향 필터(backward filter)(320)를 시간상 역방향으로 구동하는 것, 그리고 정방향 필터(310)로부터 출력된 정방향 추정치 및 역방향 필터(320)로부터 출력된 역방향 추정치의 조합을 사용하여 특정 시점 k 에 대해 가동체의 상태의 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 를 계산하는 조합기(combiner)(330)를 구동하는 것을 포함할 수 있다. 또한, 고정 간격 스무딩에서 추정치 $x_{s,k}$ 의 오차 공분산 $P_{s,k}$ 이 함께 계산될 수 있다.

[0032] 특히, 정방향 필터(310)가 가동체의 상태의 추정치 $x_{f,k}$ 를 계산하고 이를 정방향 추정치로서 제공하고, 역방향 필터(320)가 가동체의 상태의 추정치 $x_{b,k}$ 를 계산하고 이를 역방향 추정치로서 제공하는 경우, 조합기(330)는 다음 식과 같이 정방향 추정치 $x_{f,k}$ 및 역방향 추정치 $x_{b,k}$ 를 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 로 조합할 수 있다.

수학식 2

$$x_{s,k} = C_{f,k}x_{f,k} + C_{b,k}x_{b,k}$$

[0033]

[0034] 여기서 $C_{f,k}$ 및 $C_{b,k}$ 는 계수 행렬이고, $C_{f,k} + C_{b,k} = I$ 이며, I 는 항등 행렬이다. 그러면, 정방향 추정치 $x_{f,k}$ 의 오차 공분산이 $P_{f,k}$ 이고 역방향 추정치 $x_{b,k}$ 의 오차 공분산이 $P_{b,k}$ 라고 할 때, 최적의 $C_{f,k}$ 및 그것의 대응하는 $C_{b,k}$ 는 다음과 같을 수 있다.

수학식 3

$$C_{f,k} = P_{b,k}(P_{f,k} + P_{b,k})^{-1}$$

$$C_{b,k} = P_{f,k}(P_{f,k} + P_{b,k})^{-1}$$

[0035]

[0036] 또한, 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 의 오차 공분산 $P_{s,k}$ 은 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

$$P_{s,k} = (P_{f,k}^{-1} + P_{b,k}^{-1})^{-1}$$

[0037]

[0038] 고정 간격 스무딩의 몇몇 예시적인 구현에서, 정방향 필터(310)는, 도 4에 묘사된 바와 같이, 오차 상태 공간 모델을 이용한 간접(indirect) 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter: EKF)의 구조로 구성될 수 있다. 이러한 간접 접근법에서, 정방향 필터(310)를 구동하는 것은 관성 항법 시스템(Inertial Navigation System: INS)(410)을 사용하여 관성 측정 데이터 w_{ib}^b 및 f^b 로부터 관성 항법 해 x_{INS} 를 구하는 것을 포함할 수 있다. 가동체의 상태 x 는, 그것의 초기 값으로 x_0 가 주어질 때, 다음과 같은 비선형 시스템 모델에 따라 전파된다(propagated)고 가정된다.

수학식 5

$$x_k = f(x_{k-1}, f^b, w_{ib}^b)$$

[0039]

[0040] 이후, 정방향 필터(310)는 칼만 필터(420)를 통해 x 및 x_{INS} 의 오차 δx 를 추정하고, 추정된 오차로써 x_{INS} 를 교정하여(correct) 가동체의 상태 x 를 x_f 로 추정하도록 구동될 수 있다. 예로서, 칼만 필터(420)의 프로세스 모델 및 측정 모델은 각각 다음 두 식으로 나타내어질 수 있다.

수학식 6

$$\delta \dot{x} = F\delta x + \omega, \quad \omega \sim N(0, Q)$$

[0041]

수학식 7

$$z = H\delta x + \eta, \quad \eta \sim N(0, R)$$

[0042]

[0043] 여기서 ω 는 평균 0이고 분산이 Q 인 정규 분포를 갖는 시스템 잡음이고, η 는 평균이 0이고 공분산이

R 인 정규 분포를 갖는 측정 잡음이다. 또한, z 는 가동체의 상태 x 중 적어도 일부 요소(가령, 위치 p)를 나타내는 위성 측정 데이터(가령, p_{GNSS}) 및 x_{INS} 중 대응하는 요소(가령, p_{INS})의 차이이다. 수학적 식 6의 프로세스 모델 및 수학적 식 7의 측정 모델은 각각 다음 두 식과 같이 이산 형태로 다시 표현될 수 있다.

수학적 식 8

$$\delta x_k = F_{k-1} \delta x_{k-1} + \omega_{k-1}, \quad \omega_k \sim N(0, Q_k)$$

수학적 식 9

$$z_k = H_k \delta x_k + \eta_k, \quad \eta_k \sim N(0, R_k)$$

칼만 필터(420)의 계산은 시간 갱신(time update) 및 측정 갱신(measurement update)으로 구성될 수 있다. 시간 갱신은 시점 k 에 대해 δx 의 선행적 추정치(priori estimate) $\delta x_{f,k}^-$ 를 계산하고(수학적 식 10 참조), $\delta x_{f,k}^-$ 의 오차 공분산 $P_{f,k}^-$ 를 계산하는 것(수학적 식 11 참조)을 포함한다. 측정 갱신은 시점 k 에 대해 칼만 이득 $K_{f,k}$ 을 계산하고(수학적 식 12 참조), δx 의 후행적 추정치(posteriori estimate) $\delta x_{f,k}^+$ 를 계산하고(수학적 식 13 참조), $\delta x_{f,k}^+$ 의 오차 공분산 $P_{f,k}^+$ 를 계산하는 것(수학적 식 14 참조)을 포함한다.

수학적 식 10

$$\delta x_{f,k}^- = F_{k-1} \delta x_{f,k-1}^+$$

수학적 식 11

$$P_{f,k}^- = F_{k-1} P_{f,k-1}^+ F_{k-1}^T + Q_{k-1}$$

수학적 식 12

$$K_{f,k} = (P_{f,k}^- H_k^T) (H_k P_{f,k}^- H_k^T + R_k)^{-1}$$

수학식 13

[0050]

$$\delta x_{f,k}^+ = \delta x_{f,k}^- + K_{f,k}(z_k - H_k \delta x_{f,k}^-)$$

수학식 14

[0051]

$$P_{f,k}^+ = (I - K_{f,k}H_k)P_{f,k}^-(I - K_{f,k}H_k)^T + K_{f,k}R_kK_k^T$$

[0052]

앞서 언급된 바와 같이, 오차 추정치 $\delta x_{f,k}^+$ 는 관성 항법 기반의 추정치 $x_{INS,k}$ 를 교정하는 데에 사용되는 데, 가동체의 상태 x 의 교정된 추정치 $x_{f,k}$ 는 다음과 같이 계산될 수 있다.

수학식 15

[0053]

$$x_{f,k} = x_{INS,k} - \delta x_{f,k}^+$$

[0054]

나아가, 이 정방향 추정치 $x_{f,k}$ 의 오차 공분산 $P_{f,k}$ 은 $P_{f,k}^+$ 로 구해질 수 있다.

[0055]

한편, 도 3의 예에서, 역방향 필터(320)는 정방향 필터(310)와는 시간상 반대 방향으로 구동되는데, 이는 수학식 6의 프로세스 모델 및 수학식 7의 측정 모델을 각각 다음 두 식과 같이 이산 형태로 다시 나타냄으로써 도출될 수 있다.

수학식 16

[0056]

$$\delta x_{k-1} = F_{k-1}^{-1}\delta x_k + F_{k-1}^{-1}\omega_k = F_{k-1}^{-1}\delta x_k + \omega_{bk}, \quad \omega_{bk} \sim N(0, F_{k-1}^{-1}Q_kF_{k-1}^{-T})$$

수학식 17

[0057]

$$z_k = H_k \delta x_k + \eta_k, \quad \eta_k \sim N(0, R_k)$$

[0058]

그러면, 역방향 필터(320)는 정방향 필터(310)와 유사하게 칼만 필터 기반 방식으로 시간 갱신 및 측정 갱신을 통해 δx 의 추정치 $\delta x_{b,k}^-$ 및 $\delta x_{b,k}^-$ 의 오차 공분산 $P_{b,k}^-$ 를 계산할 수 있다. 또한, 역방향 필터(320)는 수학식 15와 유사하게 오차 추정치 $\delta x_{b,k}^-$ 로써 (예컨대, $x_{INS,k}$ 를 또는 $x_{f,k}$ 를 교정하여) 가동체의 상태 x 의 교정된 추정치 $x_{b,k}$ 를 계산할 수 있다. 나아가, 추정치 $x_{b,k}$ 의 오차 공분산 $P_{b,k}$ 은 $P_{b,k}^-$ 로 구해질 수 있다.

[0059] 이에 따라, 조합기(330)는 수학적 식 2에 따라 정방향 추정치 $x_{f,k}$ 및 역방향 추정치 $x_{b,k}$ 의 조합으로부터 추정치 $x_{s,k}$ 를 생성할 수 있다.

[0060] 고정 간격 스무딩의 다른 예시적인 구현에서, 정방향 필터(310)는 다른 방식으로(예컨대, 다른 형태의 간접 칼만 필터 모델에 따라 또는 직접 칼만 필터 모델에 따라) 가동체의 상태의 추정치 $x_{f,k}$ 를 정방향 추정치로서 계산할 수 있고, 역방향 필터(320)는 상응하여 가동체의 상태의 추정치 $x_{b,k}$ 를 역방향 추정치로서 계산할 수 있다. 또한, 조합기(330)는 수학적 식 2에 주어진 바와 같이 동작할 수 있다.

[0061] 고정 간격 스무딩의 또 다른 예시적인 구현에서, 정방향 필터(310)는 가동체의 상태의 오차의 추정치 $\delta x_{f,k}^+$ 를 정방향 추정치로서 계산할 수 있고, 역방향 필터(320)는 가동체의 상태의 추정치 $\delta x_{b,k}^-$ 를 역방향 추정치로서 계산할 수 있다. 또한, 조합기(330)는 수학적 식 2와 유사하게 정방향 추정치 $\delta x_{f,k}^+$ 및 역방향 추정치 $\delta x_{b,k}^-$ 를 조합하여 $\delta x_{s,k} = C_{f,k}\delta x_{f,k}^+ + C_{b,k}\delta x_{b,k}^-$ 를 생성할 수 있고, 수학적 식 15와 유사하게 이 오차 추정치로써 $x_{INS,k}$ 를 교정하여 가동체의 상태 x 의 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 를 생성할 수 있다.

[0062] 고정 간격 스무딩의 또 다른 예시적인 구현에서, 정방향 필터(310)는 가동체의 상태의 오차의 추정치를 정방향 추정치로서 계산하는 반면에 역방향 필터(320)는 가동체의 상태의 추정치를 역방향 추정치로서 계산하거나, 이와 반대일 수 있다. 예를 들어, 정방향 필터(310)는 가동체의 상태의 추정치 $x_{f,k}$ 를 정방향 추정치로서 출력할 수 있고, 역방향 필터(320)는 가동체의 상태의 오차의 추정치 $\delta x_{b,k}^-$ 를 (그것의 오차 공분산 $P_{b,k}^-$ 와 함께, 예컨대, $\delta y_{b,k} = P_{b,k}^-\delta x_{b,k}^-$ 의 형태로) 역방향 추정치로서 출력할 수 있다. 이 예에서, 조합기(330)는 다음과 같이 정방향 추정치 및 역방향 추정치의 조합으로부터 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 를 생성할 수 있다.

수학적 식 18

$$x_{s,k} = x_{f,k} - P_{s,k}\delta y_{b,k}^-$$

[0064] 몇몇 예에서, 고정 간격 스무딩은 역방향 필터(320)로부터 직접적으로 역방향 추정치 및 그것의 오차 공분산을 계산하지 않고서, 정방향 필터(310)로부터의 출력으로써 동등한 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 및 그것의 오차 공분산 $P_{s,k}$ 을 계산하는 방식으로 수행될 수 있다. 예를 들어, 고정 간격 스무딩은 라우흐-통-스트리벨 스무더(Rauch-Tung-Striebel smoother)를 사용하여 계산상 효율적으로 달성될 수 있다.

[0065] 다시 도 2를 살펴본다. 블록(220)에서, 처리 유닛(150)은 관성 측정 데이터 및 스무딩된 항법 해를 사용하여 데이터 융합을 수행함으로써 가동체를 위한 최종 항법 해 x_{af} 를 제공할 수 있다. 데이터 융합은 또한 항법 해 x_{af} 의 오차 공분산 W_{af} 을 계산하는 것을 수반할 수 있다. 특히, 처리 유닛(150)은 가동체의 상태의 최종 추정치 $x_{af,k}$ 를 생성하기 위해, 특정 시점 k 에 대해 위성 측정 데이터가 주어졌는지 여부에 기반하여, 가동체의 상태의 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 를 사용하거나 관성 측정 데이터를 사용할 수 있다. 예를 들어, 만일 특

정 시점 k 에 대해 위성 측정 데이터가 주어진 경우, 처리 유닛(150)은 가동체의 상태의 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 로 가동체의 상태의 최종 추정치 $x_{df,k}$ 를 설정할 수 있다. 또한, 만일 특정 시점 k 에 대해 위성 측정 데이터가 주어지지 않은 경우, 처리 유닛(150)은 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 를 사용하는 것 대신에, 또는 이에 더하여, 관성 측정 데이터를 사용하여 최종 추정치 $x_{df,k}$ 를 산출할 수 있는바, 이로써 고정 간격 스무딩에서의 오차를 보상하고 항법 해의 정확성을 개선할 수 있다.

[0066] 몇몇 예에서, 블록(220)에서의 데이터 융합은 정방향 과정(forward pass) 및 역방향 과정(backward pass)을 가질 수 있다. 처리 유닛(150)은 정방향 과정에서 시점 k 에 대해 가동체의 상태의 제1 추정치 $x_{fs,k}$ 를 생성하고, 역방향 과정에서 시점 k 에 대해 제2 추정치 $x_{bs,k}$ 를 생성한다.

[0067] 예를 들어, 처리 유닛(150)은 다음과 같이 제1 추정치 $x_{fs,k}$ 를 판정할 수 있다.

[0068] 만일 시점 k 에 대해 위성 측정 데이터가 주어진 경우, 제1 추정치 $x_{fs,k}$ 는 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 로 구해진다.

수학식 19

[0069]
$$x_{fs,k} = x_{s,k}$$

[0070] 따라서, 제1 추정치의 오차 공분산 $W_{f,k}$ 은 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 의 오차 공분산 $P_{s,k}$ 과 같다.

수학식 20

[0071]
$$W_{f,k} = P_{s,k}$$

[0072] 만일 시점 k 에 대해 위성 측정 데이터가 주어지지 않은 경우, 제1 추정치 $x_{fs,k}$ 는 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 가 아니라, 다음과 같이 관성 측정 데이터를 사용하여 가동체의 상태 x 를 시간상 정방향으로 전파하는 식(이하 "제1 상태 전이 방정식"으로 칭해질 수 있음)에 따라 구해진다.

수학식 21

[0073]
$$x_{fs,k} = f_{fs}(x_{fs,k-1}, f_k^b, w_{ib,k}^b)$$

[0074] 여기서 f_{fs} 는 제1 상태 전이 방정식이다. 예를 들어, 이 식은 $x_{fs,k} = [x_{fs,k}^T v_{fs,k} \Phi_{fs,k}^T]^T$ 일 때 수학식 22 내지 수학식 24에 의해 나타내어질 수 있다.

수학식 22

[0075]

$$p_{fs,k} = p_{fs,k-1} + v_{fs,k}\Delta t$$

수학식 23

[0076]

$$v_{fs,k} = v_{fs,k-1} + (C_n^b f_k^b - g)\Delta t$$

수학식 24

[0077]

$$q_{fs,k} = q_{fs,k-1} \otimes r_{fs,k}$$

$$r_{fs,k} = \begin{bmatrix} \cos \frac{\|w_{ib,k}^b \Delta t\|}{2} \\ \sin \frac{\|w_{ib,k}^b \Delta t\|}{2} w_{x,k} \Delta t \\ \sin \frac{\|w_{ib,k}^b \Delta t\|}{2} w_{y,k} \Delta t \\ \sin \frac{\|w_{ib,k}^b \Delta t\|}{2} w_{z,k} \Delta t \end{bmatrix}$$

[0078]

여기서 Δt 는 갱신 간격이고, C_n^b 는 가동체의 동체 좌표계(body frame)로부터 항법 좌표계(가령, NED(North-East-Down) 좌표계)로의 방향 코사인 행렬이고, $g = [0 \ 0 \ g]$ 인 중력 벡터이고, $q_{fs,k}$ 는 쿼터니언(quaternion) 벡터(소정의 계산을 통해 가동체의 자세 $\Phi_{fs,k}$ 로 변환될 수 있음)이고, $\otimes$ 는 쿼터니언 곱셈 연산자이다. 나아가, 제1 추정치의 오차 공분산 $W_{f,k}$ 은 수학식 11과 마찬가지로 다음과 같은 시간 갱신 방정식에 따라 계산될 수 있다.

수학식 25

[0079]

$$W_{f,k} = F_{fs,k-1} W_{f,k-1} F_{fs,k-1}^T + Q_{k-1}$$

[0080]

여기서 $F_{fs,k} = F_k$ 이다.

[0081]

또한, 예를 들어, 처리 유닛(150)은 다음과 같이 제2 추정치 $x_{bs,k}$ 를 판정할 수 있다.

[0082]

만일 시점 k 에 대해 위성 측정 데이터가 주어진 경우, 제2 추정치 $x_{bs,k}$ 는 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 로 구해진다.

수학식 26

[0083] $x_{bs,k} = x_{s,k}$

[0084] 따라서, 제2 추정치의 오차 공분산 $W_{b,k}$ 은 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 의 오차 공분산 $P_{s,k}$ 과 같다.

수학식 27

[0085] $W_{b,k} = P_{s,k}$

[0086] 만일 시점 k 에 대해 위성 측정 데이터가 주어지지 않은 경우, 제2 추정치 $x_{bs,k}$ 는 스무딩된 추정치 $x_{s,k}$ 가 아니라, 다음과 같이 관성 측정 데이터를 사용하여 가동체의 상태 x 를 시간상 역방향으로 전파하는 식(이하 "제2 상태 전이 방정식"으로 칭해질 수 있음)에 따라 구해진다.

수학식 28

[0087] $x_{bs,k} = f_{bs}(x_{bs,k+1}, f_k^b, w_{ib,k}^b)$

[0088] 여기서 f_{bs} 는 제2 상태 전이 방정식이다. 예를 들어, 이 식은 $x_{bs,k} = [p_{bs,k}^T v_{bs,k} \Phi_{bs,k}^T]^T$ 일 때 수학식 29 내지 수학식 31에 의해 나타내어질 수 있다.

수학식 29

[0089] $p_{bs,k} = p_{bs,k+1} - v_{bs,k} \Delta t$

수학식 30

[0090] $v_{bs,k} = v_{bs,k+1} - (C_n^b f_k^b - g) \Delta t$

수학식 31

$$q_{bs,k} = q_{bs,k+1} \otimes r_{bs,k}$$

$$r_{bs,k} = \begin{bmatrix} \cos \frac{\|w_{ib,k}^b \Delta t\|}{2} \\ -\sin \frac{\|w_{ib,k}^b \Delta t\|}{2} w_{x,k} \Delta t \\ -\sin \frac{\|w_{ib,k}^b \Delta t\|}{2} w_{y,k} \Delta t \\ -\sin \frac{\|w_{ib,k}^b \Delta t\|}{2} w_{z,k} \Delta t \end{bmatrix}$$

[0091]

[0092] 여기서 $q_{bs,k}$ 는 소정의 계산을 통해 가동체의 자세 $\Phi_{bs,k}$ 로 변환될 수 있는 쿼터니언 벡터이다. 나아가, 제2 추정치의 오차 공분산 $W_{b,k}$ 은, 수학식 11 및 수학식 16에 비추어, 다음과 같은 시간 갱신 방정식에 따라 계산될 수 있다.

수학식 32

$$W_{b,k} = F_{bs,k-1}^T (W_{b,k+1} + Q_{k-1}) F_{bs,k-1}$$

[0093]

[0094] 여기서 $F_{bs,k} = F_k^{-T}$ 이다.

[0095] 그러면, 처리 유닛(150)은 제1 추정치 $x_{fs,k}$ 및 제2 추정치 $x_{bs,k}$ 의 조합을 사용하여 최종 추정치 $x_{df,k}$ 를 생성함으로써 데이터 융합을 수행할 수 있다. 예를 들어, 최종 추정치 $x_{df,k}$ 는 다음과 같이 제1 추정치 및 제2 추정치의 가중화된 합으로서 생성될 수 있다.

수학식 33

$$x_{df,k} = W_{df,k} (W_{b,k}^{-1} x_{fs,k} + W_{f,k}^{-1} x_{bs,k})$$

[0096]

[0097] 이 식에서 최종 추정치 $x_{df,k}$ 의 오차 공분산 $W_{df,k}$ 이 사용됨을 알 수 있다. 공분산 $W_{df,k}$ 은 다음과 같을 수 있다.

수학식 34

$$W_{df,k} = (W_{f,k}^{-1} + W_{b,k}^{-1})^{-1}$$

[0098]

[0099] 도 5는 전술된 데이터 융합 기반의 오프라인 복합 항법이 어떤 점에서 유리한지를 개략적으로 나타낸다. 복합 항법 시스템(100)에서 EKF와 같은 정방향 필터(310)로써 측정 데이터를 처리하여 항법 해를 구하는 경우, 도 5의 실선 그래프에 의해 묘사된 바와 같이, 시간이 경과함에 따라 INS 기반의 항법 해의 오차가 발산하다가 위성 측정 데이터의 수신에 응답하여 오차가 보상된다. 또한, 도 5의 파선 그래프는 블록(210)에서의 고정 간격 스무딩이 적용된 경우를 보여주는데, 이 경우에는 오차가 발산하는 정도가 낮아지기는 하나 위성 측정 데이터가 수신될 때까지 오차가 발산한다. 반면에, 도 5의 점선 그래프에 의해 나타내어진 바와 같이, 블록(220)에서의 데이터 융합이 적용되면, 위성 측정 데이터가 주어지지 않은 시점에 대한 항법 해를 산출하는 데에 있어서 이전의 위성 측정 데이터의 불필요한 영향이 감소될 수 있고, 따라서 오차의 발산이 효율적으로 억제될 수 있다.

[0100] 몇몇 예에서, 전술된 바와 같이 산출된 항법 해는 더 정제될 수 있다. 예를 들어, 처리 유닛(150)은 시점 k 에 대해 위성 측정 데이터(가령, $p_{GNSS,k}$)가 주어지거나 그것의 품질이 낮은 경우, 그러한 위성 측정 데이터를 배제한 채로, 도 2 내지 도 4를 참조하여 논의된 데이터 융합 기반의 오프라인 복합 항법을 재수행할 수 있다. 이는 열악한 품질의 위성 측정 데이터가 항법 해 계산에 미치는 영향을 줄이는 데에 도움이 될 수 있다.

[0101] 구체적으로, 처리 유닛(150)은 복합 항법 시스템(100) 전체 대신 이에 포함된 관성 항법 시스템(Inertial Navigation System: INS)(410)에 따라 $p_{f,k-1}$ 로부터 예측된 위치 $p_{f,k}^-$ 및 위성 측정 데이터 $p_{GNSS,k}$ 간의 제1 비교에 기반하여, 그리고/또는 최종 추정치 $p_{df,k}$ 및 위성 측정 데이터 $p_{GNSS,k}$ 간의 제2 비교에 기반하여, 위성 측정 데이터 $p_{GNSS,k}$ 의 품질이 양호한지 여부를 판정할 수 있다.

[0102] 예를 들어, 이 판정은 다음과 같이 제1 비교에 기반하여 행해질 수 있다.

수학식 35

$$G_{INS} = \begin{cases} 1, & \|p_{f,k}^- - p_{GNSS,k}\| \geq c_{INS}(\sigma_{p,INS} + \sigma_{p,GNSS}) \\ 0, & \|p_{f,k}^- - p_{GNSS,k}\| < c_{INS}(\sigma_{p,INS} + \sigma_{p,GNSS}) \end{cases}$$

[0103]

[0104] 여기서 G_{INS} 는 제1 비교의 결과를 나타내는 플래그(flag)이고, $\sigma_{p,INS}$ 는 $p_{f,k}^-$ 의 표준 편차이고, $\sigma_{p,GNSS}$ 는 $p_{df,k}$ 의 표준 편차이고, c_{INS} 는 튜닝 인자(tuning factor)이다. G_{INS} 가 0이면 $p_{GNSS,k}$ 의 품질이 양호하다고 판정될 수 있고, G_{INS} 가 1이면 $p_{GNSS,k}$ 의 품질이 양호하지 않다고 판정될 수 있다.

[0105] 또한, 그러한 판정은 다음과 같이 제2 비교에 기반하여 행해질 수 있다.

수학식 36

$$G_{df} = \begin{cases} 1, & \|p_{df,k} - p_{GNSS,k}\| \geq c_{df}(\sigma_{p,df} + \sigma_{p,GNSS}) \\ 0, & \|p_{df,k} - p_{GNSS,k}\| < c_{df}(\sigma_{p,df} + \sigma_{p,GNSS}) \end{cases}$$

[0106]

[0107] 여기서 G_{df} 는 제2 비교의 결과를 나타내는 플래그이고, $\sigma_{p,df}$ 는 $p_{df,k}$ 의 표준 편차이고, c_{df} 는 튜닝 인자이다. G_{df} 가 0이면 $p_{GNSS,k}$ 의 품질이 양호하다고 판정될 수 있고, G_{df} 가 1이면 $p_{GNSS,k}$

의 품질이 양호하지 않다고 판정될 수 있다.

- [0108] 또 다른 예에서, $p_{GNSS,k}$ 의 품질이 양호한지 여부에 대한 판정은 다음과 같이 제1 비교 및 제2 비교 양자 모두에 기반하여 행해질 수 있다: G_{INS} 및 G_{df} 양자 모두가 1인 경우, $p_{GNSS,k}$ 의 품질이 열악하다고 판정됨; 그리고 그렇지 않은 경우, $p_{GNSS,k}$ 의 품질이 양호하다고 판정됨.
- [0109] 이제, 도 6을 참조하여, 복합 항법 시스템을 사용하여 가동체의 상태의 추정을 수행하는 예시적인 프로세스(600)가 설명된다. 예를 들어, 프로세스(600)는 오프라인 복합 항법 시스템(100)(특히, 처리 유닛(150))에 의해 수행될 수 있다. 프로세스(600)의 다른 예시적인 흐름이 또한 고려된다. 예를 들어, 프로세스(600)는 도시되지 않은 추가적인 동작을 또한 포함할 수 있고/거나, 도 6과 관련하여 예시된 동작 중 일부를 포함하나 전부를 포함하지는 않을 수 있다.
- [0110] 동작(610)에서, 시간 기간에 대해 주어진 측정 데이터를 사용하여 가동체의 상태의 고정 간격 스무딩이 수행되며, 이에 따라 시간 기간 내의 특정 시점 k 에 대해 가동체의 상태의 스무딩된 추정치가 생성된다. 복합 항법 시스템에 제공되는 측정 데이터는 가동체의 관성 센서(가령, 자이로스코프 및 가속도계)에 의해 주어진 관성 측정 데이터 및 위 가동체의 위성 항법 수신기(가령, GPS 수신기 또는 다른 GNSS 수신기)에 의해 주어진 위성 측정 데이터를 포함한다. 예를 들어, 가동체의 상태는 가동체의 위치, 속도 및 자세 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0111] 특정한 예에서, 고정 간격 스무딩을 수행하는 것은, 정방향 필터로써 가동체의 상태의 또는 그것의 오차의 정방향 추정치를 생성하고, 역방향 필터로써 가동체의 상태의 또는 그것의 오차의 역방향 추정치를 생성하고, 정방향 추정치와 역방향 추정치의 조합으로부터 가동체의 상태의 스무딩된 추정치를 생성하는 것을 포함할 수 있다(가령, 수학적 2 참조). 또한, 고정 간격 스무딩을 수행하는 것은, 가동체의 상태의 전이를 위한 프로세스 모델을 기반으로, 정방향 추정치의 오차 공분산 및 역방향 추정치의 오차 공분산을 계산하고, 이들 오차 공분산으로부터 가동체의 상태의 스무딩된 추정치의 오차 공분산을 계산하는 것을 포함할 수 있다(가령, 수학적 4 참조).
- [0112] 동작(620)에서, 시점 k 에 대해 위성 측정 데이터가 주어졌는지 여부가 판정된다.
- [0113] 만일 시점 k 에 대해 위성 측정 데이터가 주어졌다고 판정된 경우, 동작(630)에서, 시점 k 에 대해 동작(610)에서 생성된 스무딩된 추정치가 최종 추정치로서 설정된다(가령, 수학적 19 및 수학적 26 참조). 또한, 시점 k 에 대해, 스무딩된 추정치의 오차 공분산이 최종 추정치의 오차 공분산으로 설정될 수 있다(가령, 수학적 20 및 수학적 27 참조).
- [0114] 만일 시점 k 에 대해 위성 측정 데이터가 주어지지 않았다고 판정된 경우, 동작(640)에서, 시점 k 에 대해, 스무딩된 추정치를 사용하는 것 대신에 또는 스무딩된 추정치를 사용하는 것에 더하여, 제1 상태 전이 방정식 및 제2 상태 전이 방정식에 기반하여, 가동체의 상태의 최종 추정치가 생성된다. 제1 상태 전이 방정식은 가동체의 상태를 시간상 정방향으로 전파하고, 제2 상태 전이 방정식은 가동체의 상태를 시간상 역방향으로 전파한다.
- [0115] 예를 들어, 동작(640)에서, 시점 k 에 대해, 가동체의 상태의 제1 추정치 및 제2 추정치가 각각 제1 상태 전이 방정식 및 제2 상태 전이 방정식에 기반하여 생성될 수 있고(가령, 수학적 21 및 수학적 28 참조), 제1 추정치 및 제2 추정치의 조합으로부터 최종 추정치가 생성될 수 있다(가령, 수학적 33 참조). 또한, 시점 k 에 대해, 최종 추정치의 오차 공분산이 생성되어 최종 추정치의 계산에 사용될 수 있다(가령, 수학적 33 및 수학적 34 참조). 특히, 이 오차 공분산은, 각각 제1 시간 갱신 방정식 및 제2 시간 갱신 방정식에 기반하여 생성된 제1 오차 공분산 및 제2 오차 공분산으로부터 계산될 수 있는데, 이들 시간 갱신 방정식은 가동체의 상태의 추정의 오차 공분산을 각각 시간상 정방향 및 역방향으로 전파하도록 정의된 것이다(수학적 25 및 수학적 32 참조). 그러면, 최종 추정치는 제1 추정치 및 제2 추정치의 가중화된 합으로서 계산될 수 있는데, 제1 오차 공분산 및 제2 오차 공분산은 각각 제1 추정치 및 제2 추정치를 가중화하는 데에 사용될 수 있다(수학적 33 참조).

- [0116] 다음은 데이터 융합에 기반하여 향상된 복합 항법 해를 제공하는 것에 관련된 다양한 예이다.
- [0117] 예 1에서, 복합 항법 시스템을 사용하여 가동체의 상태의 추정을 수행하는 방법은, 시간 기간 내의 특정 시점에 대해 위 상태의 스무딩된 추정치를 생성하기 위해, 위 시간 기간에 대해 주어진 측정 데이터를 사용하여 위 상태의 고정 간격 스무딩을 수행하는 단계(위 측정 데이터는 위 가동체의 관성 센서에 의해 주어진 관성 측정 데이터 및 위 가동체의 위성 항법 수신기에 의해 주어진 위성 측정 데이터를 포함함)와, 위 특정 시점에 대해 위 위성 측정 데이터가 주어지지 않은 경우, 위 특정 시점에 대해, 위 스무딩된 추정치를 사용하는 것 대신에 또는 위 스무딩된 추정치를 사용하는 것에 더하여, 제1 상태 전이 방정식 및 제2 상태 전이 방정식에 기반하여, 위 상태의 최종 추정치를 생성하는 단계를 포함하되, 위 제1 상태 전이 방정식 및 위 제2 상태 전이 방정식은 위 관성 측정 데이터를 사용하여 위 상태를 각각 시간상 정방향 및 역방향으로 전파한다.
- [0118] 예 2는 예 1의 주제를 포함하는데, 위 상태는 위 가동체의 위치, 속도 및 자세 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0119] 예 3은 예 1 또는 예 2의 주제를 포함하는데, 위 고정 간격 스무딩을 수행하는 단계는, 시간상 정방향으로 정방향 필터를 구동하여 위 상태의 또는 위 상태의 오차의 정방향 추정치를 생성하는 단계와, 시간상 역방향으로 역방향 필터를 구동하여 위 상태의 또는 위 상태의 오차의 역방향 추정치를 생성하는 단계와, 위 정방향 추정치 및 위 역방향 추정치의 조합을 사용하여 위 스무딩된 추정치를 생성하는 단계를 포함한다.
- [0120] 예 4는 예 1 내지 예 3 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 고정 간격 스무딩을 수행하는 단계는 라우흐-통-스트리벨 스무더(Rauch-Tung-Striebel smoother)를 구동하여 위 스무딩된 추정치를 생성하는 단계를 포함한다.
- [0121] 예 5는 예 1 내지 예 4 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 최종 추정치를 생성하는 단계는, 위 특정 시점에 대해, 위 상태의 제1 추정치 및 제2 추정치를 각각 위 제1 상태 전이 방정식 및 위 제2 상태 전이 방정식에 기반하여 생성하는 단계와, 위 제1 추정치 및 위 제2 추정치를 위 최종 추정치로 조합하는 단계를 포함한다.
- [0122] 예 6은 예 5의 주제를 포함하는데, 위 고정 간격 스무딩을 수행하는 단계는 위 상태의 전이를 위한 프로세스 모델을 기반으로 위 측정 데이터를 처리하여 위 스무딩된 추정치의 오차 공분산을 생성하는 단계를 포함하고, 위 최종 추정치를 생성하는 단계는, 위 스무딩된 추정치의 위 오차 공분산을 사용하는 것 대신에 또는 위 스무딩된 추정치의 위 오차 공분산을 사용하는 것에 더하여, 위 프로세스 모델에 기반하여 위 최종 추정치의 오차 공분산을 생성하는 단계를 더 포함하고, 위 제1 추정치 및 위 제2 추정치를 조합하는 단계는 위 최종 추정치를 위 제1 추정치 및 위 제2 추정치의 가중화된 합으로서 생성하기 위해 위 최종 추정치의 위 오차 공분산을 사용하는 단계를 포함한다.
- [0123] 예 7은 예 6의 주제를 포함하는데, 위 최종 추정치의 위 오차 공분산을 생성하는 단계는, 위 특정 시점에 대해, 제1 오차 공분산 및 제2 오차 공분산을 각각 제1 시간 갱신 방정식 및 제2 시간 갱신 방정식에 기반하여 생성하는 단계를 포함하고, 위 제1 시간 갱신 방정식 및 위 제2 시간 갱신 방정식은 위 추정의 오차 공분산을 각각 시간상 정방향 및 역방향으로 전파하도록 위 프로세스 모델에 따라 정의되고, 위 최종 추정치의 위 오차 공분산을 사용하는 단계는 위 제1 추정치 및 위 제2 추정치를 가중화하기 위해 각각 위 제1 오차 공분산 및 위 제2 오차 공분산을 사용하는 단계를 포함한다.
- [0124] 예 8은 예 1 내지 예 7 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 방법은, 위 위성 항법 수신기에 의해 위 특정 시점에 대해 위 위성 측정 데이터가 주어진 경우, 상기 스무딩된 추정치를 상기 최종 추정치로서 설정하는 단계를 더 포함한다.
- [0125] 예 9는 예 1 내지 예 8 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 방법은, 위 위성 항법 수신기에 의해 위 특정 시점에 대해 위 위성 측정 데이터가 주어진 경우, 위 특정 시점에 대해 주어진 위 위성 측정 데이터가 양호한 품질을 갖는지를, 위 상태의 예측 및 위 위성 측정 데이터 간의 비교 및/또는 위 상태의 위 추정 및 위 위성 측정 데이터 간의 비교에 기반하여 판정하는 단계(위 예측은 위 복합 항법 시스템에 포함된 관성 항법 시스템(Inertial Navigation System: INS)에 따라 행해짐)와, 위 특정 시점에 대해 주어진 위 위성 측정 데이터가 양호한 품질을 갖지 않는다고 판정된 경우, 위 특정 시점에 대해 주어진 위 위성 측정 데이터를 사용하지 않고서 위 상태의 위 추정을 수행하는 것을 반복하는 단계를 더 포함한다.
- [0126] 예 10은 예 1 내지 예 9 중 임의의 것의 주제를 포함하고, 위 관성 센서는 자이로스코프 및 가속도계 중 적어도 하나를 포함하고/거나, 위 위성 항법 수신기는 글로벌 항법 위성 시스템(Global Navigation Satellite System: GNSS) 수신기를 포함한다.
- [0127] 예 11에서, 컴퓨팅 장치는, 프로세서와, 메모리를 포함하되, 위 메모리는 복합 항법 시스템을 사용하여 가동체

의 상태의 추정을 수행하기 위해 위 프로세서에 의해 실행가능한 컴퓨터 프로그램 명령어의 세트으로써 인코딩되
되, 컴퓨터 프로그램 명령어의 위 세트는, 시간 기간 내의 특정 시점에 대해 위 상태의 스무딩된 추정치를 생성
하기 위해, 위 시간 기간에 대해 주어진 측정 데이터를 사용하여 위 상태의 고정 간격 스무딩을 수행하는 명령
어(위 측정 데이터는 위 가동체의 관성 센서에 의해 주어진 관성 측정 데이터 및 위 가동체의 위성 항법 수신기
에 의해 주어진 위성 측정 데이터를 포함함)와, 위 특정 시점에 대해 위 위성 측정 데이터가 주어지지 않은 경
우, 위 특정 시점에 대해, 위 스무딩된 추정치를 사용하는 것 대신에 또는 위 스무딩된 추정치를 사용하는 것에
더하여, 제1 상태 전이 방정식 및 제2 상태 전이 방정식에 기반하여, 위 상태의 최종 추정치를 생성하는 명령어
를 포함하되, 위 제1 상태 전이 방정식 및 위 제2 상태 전이 방정식은 위 관성 측정 데이터를 사용하여 위 상태
를 각각 시간상 정방향 및 역방향으로 전파한다.

[0128] 예 12는 예 11의 주제를 포함하는데, 위 상태는 위 가동체의 위치, 속도 및 자세 중 적어도 하나를 포함한다.

[0129] 예 13은 예 11 또는 예 12의 주제를 포함하는데, 위 고정 간격 스무딩을 수행하는 명령어는, 시간상 정방향으로
정방향 필터를 구동하여 위 상태의 또는 위 상태의 오차의 정방향 추정치를 생성하는 명령어와, 시간상 역방향
으로 역방향 필터를 구동하여 위 상태의 또는 위 상태의 오차의 역방향 추정치를 생성하는 명령어와, 위 정방향
추정치 및 위 역방향 추정치의 조합을 사용하여 위 스무딩된 추정치를 생성하는 명령어를 포함한다.

[0130] 예 14는 예 11 내지 예 13 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 고정 간격 스무딩을 수행하는 명령어는 라우
흐-통-스트리벨 스무더(Rauch-Tung-Striebel smoother)를 구동하여 위 스무딩된 추정치를 생성하는 명령어를 포
함한다.

[0131] 예 15는 예 11 내지 예 14 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 최종 추정치를 생성하는 명령어는, 위 특정
시점에 대해, 위 상태의 제1 추정치 및 제2 추정치를 각각 위 제1 상태 전이 방정식 및 위 제2 상태 전이 방정
식에 기반하여 생성하는 명령어와, 위 제1 추정치 및 위 제2 추정치를 위 최종 추정치로 조합하는 명령어를 포
함한다.

[0132] 예 16은 예 15의 주제를 포함하는데, 위 고정 간격 스무딩을 수행하는 명령어는 위 상태의 전이를 위한 프로세
스 모델을 기반으로 위 측정 데이터를 처리하여 위 스무딩된 추정치의 오차 공분산을 생성하는 명령어를 포함하
고, 위 최종 추정치를 생성하는 명령어는, 위 스무딩된 추정치의 위 오차 공분산을 사용하는 것 대신에 또는 위
스무딩된 추정치의 위 오차 공분산을 사용하는 것에 더하여, 위 프로세스 모델에 기반하여 위 최종 추정치의 오
차 공분산을 생성하는 명령어를 더 포함하고, 위 제1 추정치 및 위 제2 추정치를 조합하는 명령어는 위 최종 추
정치를 위 제1 추정치 및 위 제2 추정치의 가중화된 합으로서 생성하기 위해 위 최종 추정치의 위 오차 공분산
을 사용하는 명령어를 포함한다.

[0133] 예 17은 예 16의 주제를 포함하는데, 위 최종 추정치의 위 오차 공분산을 생성하는 명령어는, 위 특정 시점에
대해, 제1 오차 공분산 및 제2 오차 공분산을 각각 제1 시간 갱신 방정식 및 제2 시간 갱신 방정식에 기반하여
생성하는 명령어를 포함하고, 위 제1 시간 갱신 방정식 및 위 제2 시간 갱신 방정식은 위 추정의 오차 공분산을
각각 시간상 정방향 및 역방향으로 전파하도록 위 프로세스 모델에 따라 정의되고, 위 최종 추정치의 위 오차
공분산을 사용하는 명령어는 위 제1 추정치 및 위 제2 추정치를 가중화하기 위해 각각 위 제1 오차 공분산 및
위 제2 오차 공분산을 사용하는 명령어를 포함한다.

[0134] 예 18은 예 11 내지 예 17 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 컴퓨터 프로그램 명령어의 위 세트는, 위 위성
항법 수신기에 의해 위 특정 시점에 대해 위 위성 측정 데이터가 주어진 경우, 상기 스무딩된 추정치를 상기 최
종 추정치로서 설정하는 명령어를 더 포함한다.

[0135] 예 19는 예 11 내지 예 18 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 컴퓨터 프로그램 명령어의 위 세트는, 위 위성
항법 수신기에 의해 위 특정 시점에 대해 위 위성 측정 데이터가 주어진 경우, 위 특정 시점에 대해 주어진 위
위성 측정 데이터가 양호한 품질을 갖는지를, 위 상태의 예측 및 위 위성 측정 데이터 간의 비교 및/또는 위 상
태의 위 추정 및 위 위성 측정 데이터 간의 비교에 기반하여 판정하는 명령어(위 예측은 위 복합 항법 시스템에
포함된 관성 항법 시스템(Inertial Navigation System: INS)에 따라 행해짐)와, 위 특정 시점에 대해 주어진
위 위성 측정 데이터가 양호한 품질을 갖지 않는다고 판정된 경우, 위 특정 시점에 대해 주어진 위 위성 측정
데이터를 사용하지 않고서 위 상태의 위 추정을 수행하는 것을 반복하는 명령어를 더 포함한다.

[0136] 예 20은 예 11 내지 예 19 중 임의의 것의 주제를 포함하고, 위 관성 센서는 자이로스코프 및 가속도계 중 적어
도 하나를 포함하고/거나, 위 위성 항법 수신기는 글로벌 항법 위성 시스템(Global Navigation Satellite
System: GNSS) 수신기를 포함한다.

- [0137] 예 21에서, 복합 항법 시스템은, 가동체 내에 마련된 관성 센서와, 위 가동체 내에 마련된 위성 항법 수신기와, 동작을 수행함으로써 위 가동체의 상태를 추정하는 항법 컴퓨터를 포함하되, 위 동작은, 시간 기간 내의 특정 시점에 대해 위 상태의 스무딩된 추정치를 생성하기 위해, 위 시간 기간에 대해 주어진 측정 데이터를 사용하여 위 상태의 고정 간격 스무딩을 수행하는 것(위 측정 데이터는 위 관성 센서에 의해 주어진 관성 측정 데이터 및 위 위성 항법 수신기에 의해 주어진 위성 측정 데이터를 포함함)과, 위 특정 시점에 대해 위 위성 측정 데이터가 주어지지 않은 경우, 위 특정 시점에 대해, 위 스무딩된 추정치를 사용하는 것 대신에 또는 위 스무딩된 추정치를 사용하는 것에 더하여, 제1 상태 전이 방정식 및 제2 상태 전이 방정식에 기반하여, 위 상태의 최종 추정치를 생성하는 것을 포함하되, 위 제1 상태 전이 방정식 및 위 제2 상태 전이 방정식은 위 관성 측정 데이터를 사용하여 위 상태를 각각 시간상 정방향 및 역방향으로 전파한다.
- [0138] 예 22는 예 21의 주제를 포함하는데, 위 상태는 위 가동체의 위치, 속도 및 자세 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0139] 예 23은 예 21 또는 예 22의 주제를 포함하는데, 위 고정 간격 스무딩을 수행하는 것은, 시간상 정방향으로 정방향 필터를 구동하여 위 상태의 또는 위 상태의 오차의 정방향 추정치를 생성하는 것과, 시간상 역방향으로 역방향 필터를 구동하여 위 상태의 또는 위 상태의 오차의 역방향 추정치를 생성하는 것과, 위 정방향 추정치 및 위 역방향 추정치의 조합을 사용하여 위 스무딩된 추정치를 생성하는 것을 포함한다.
- [0140] 예 24는 예 21 내지 예 23 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 고정 간격 스무딩을 수행하는 것은 라우흐-통-스트리벨 스무더(Rauch-Tung-Striebel smoother)를 구동하여 위 스무딩된 추정치를 생성하는 것을 포함한다.
- [0141] 예 25는 예 21 내지 예 24 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 최종 추정치를 생성하는 것은, 위 특정 시점에 대해, 위 상태의 제1 추정치 및 제2 추정치를 각각 위 제1 상태 전이 방정식 및 위 제2 상태 전이 방정식에 기반하여 생성하는 것과, 위 제1 추정치 및 위 제2 추정치를 위 최종 추정치로 조합하는 것을 포함한다.
- [0142] 예 26은 예 25의 주제를 포함하는데, 위 고정 간격 스무딩을 수행하는 것은 위 상태의 전이를 위한 프로세스 모델을 기반으로 위 측정 데이터를 처리하여 위 스무딩된 추정치의 오차 공분산을 생성하는 것을 포함하고, 위 최종 추정치를 생성하는 것은, 위 스무딩된 추정치의 위 오차 공분산을 사용하는 것 대신에 또는 위 스무딩된 추정치의 위 오차 공분산을 사용하는 것에 더하여, 위 프로세스 모델에 기반하여 위 최종 추정치의 오차 공분산을 생성하는 것을 더 포함하고, 위 제1 추정치 및 위 제2 추정치를 조합하는 것은 위 최종 추정치를 위 제1 추정치 및 위 제2 추정치의 가중화된 합으로서 생성하기 위해 위 최종 추정치의 위 오차 공분산을 사용하는 것을 포함한다.
- [0143] 예 27은 예 26의 주제를 포함하는데, 위 최종 추정치의 위 오차 공분산을 생성하는 것은, 위 특정 시점에 대해, 제1 오차 공분산 및 제2 오차 공분산을 각각 제1 시간 갱신 방정식 및 제2 시간 갱신 방정식에 기반하여 생성하는 것을 포함하고, 위 제1 시간 갱신 방정식 및 위 제2 시간 갱신 방정식은 위 추정의 오차 공분산을 각각 시간상 정방향 및 역방향으로 전파하도록 위 프로세스 모델에 따라 정의되고, 위 최종 추정치의 위 오차 공분산을 사용하는 것은 위 제1 추정치 및 위 제2 추정치를 가중화하기 위해 각각 위 제1 오차 공분산 및 위 제2 오차 공분산을 사용하는 것을 포함한다.
- [0144] 예 28은 예 21 내지 예 27 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 동작은, 위 위성 항법 수신기에 의해 위 특정 시점에 대해 위 위성 측정 데이터가 주어진 경우, 상기 스무딩된 추정치를 상기 최종 추정치로서 설정하는 것을 더 포함한다.
- [0145] 예 29는 예 21 내지 예 28 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 동작은, 위 위성 항법 수신기에 의해 위 특정 시점에 대해 위 위성 측정 데이터가 주어진 경우, 위 특정 시점에 대해 주어진 위 위성 측정 데이터가 양호한 품질을 갖는지를, 위 상태의 예측 및 위 위성 측정 데이터 간의 비교 및/또는 위 상태의 위 추정 및 위 위성 측정 데이터 간의 비교에 기반하여 판정하는 것(위 예측은 위 복합 항법 시스템에 포함된 관성 항법 시스템(Inertial Navigation System: INS)에 따라 행해짐)과, 위 특정 시점에 대해 주어진 위 위성 측정 데이터가 양호한 품질을 갖지 않는다고 판정된 경우, 위 특정 시점에 대해 주어진 위 위성 측정 데이터를 사용하지 않고서 위 상태의 위 추정을 수행하는 것을 반복하는 것을 더 포함한다.
- [0146] 예 30은 예 21 내지 예 29 중 임의의 것의 주제를 포함하고, 위 관성 센서는 자이로스코프 및 가속도계 중 적어도 하나를 포함하고/거나, 위 위성 항법 수신기는 글로벌 항법 위성 시스템(Global Navigation Satellite System: GNSS) 수신기를 포함한다.
- [0147] 예 31에서, 컴퓨터 프로세서에 의해 실행되는 경우에 위 컴퓨터 프로세서로 하여금 예 1 내지 예 10 중 임의의

것에 기재된 방법을 수행하게 하는 컴퓨터 실행가능 명령어가 저장된 컴퓨터 판독가능 저장 매체가 제공된다.

[0148] 특정한 예에서, 본 문서에서 언급된 장치, 디바이스, 시스템, 머신 등은 임의의 적합한 유형은 컴퓨팅 장치이거나, 이를 포함하거나, 이에 구현될 수 있다. 컴퓨팅 장치는 프로세서 및 프로세서에 의해 판독가능한 컴퓨터 판독가능 저장 매체를 포함할 수 있다. 프로세서는 컴퓨터 판독가능 저장 매체 내에 저장된 하나 이상의 명령어를 실행할 수 있다. 프로세서는 또한 컴퓨터 판독가능 저장 매체 내에 저장된 다른 정보를 판독할 수 있다. 추가로, 프로세서는 컴퓨터 판독가능 저장 매체 내에 새로운 정보를 저장할 수 있고 컴퓨터 판독가능 저장 매체 내에 저장된 어떤 정보를 갱신할 수 있다. 프로세서는, 예컨대, 중앙 처리 유닛(Central Processing Unit: CPU), 디지털 신호 프로세서(Digital Signal Processor: DSP), 그래픽 처리 유닛(Graphics Processing Unit: GPU), 프로세서 코어(processor core), 마이크로프로세서(microprocessor), 마이크로제어기(microcontroller), 필드 프로그램가능 게이트 어레이(Field-Programmable Gate Array: FPGA), 애플리케이션 특정 집적 회로(Application Specific Integrated Circuit: ASIC), 다른 하드웨어 및 로직 회로, 또는 이의 임의의 적합한 조합을 포함할 수 있다. 컴퓨터 판독가능 저장 매체는 다양한 정보, 예컨대, 프로세서에 의해 수행될 수 있는 프로세서 실행가능(processor executable) 명령어의 세트 및/또는 다른 정보로써 인코딩된다. 예를 들어, 컴퓨터 판독가능 저장 매체는 프로세서에 의해 실행되는 경우 컴퓨팅 장치(가령, 프로세서)로 하여금 본 문서에 개시된 몇몇 동작을 수행하게 하는 컴퓨터 프로그램 명령어 및/또는 그러한 동작에서 사용되는 정보, 데이터, 변수, 상수, 데이터 구조, 기타 등등이 내부에 저장될 수 있다. 컴퓨터 판독가능 저장 매체는, 예컨대, 판독 전용 메모리(Read-Only Memory: ROM), 랜덤 액세스 메모리(Random-Access Memory: RAM), 휘발성(volatile) 메모리, 비휘발성(non-volatile) 메모리, 착탈가능(removable) 메모리, 비착탈가능(non-removable) 메모리, 플래시(flash) 메모리, 솔리드 스테이트(solid-state) 메모리, 다른 타입의 메모리 디바이스, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD와 같은 광 기록 매체, 플롭티컬 디스크와 같은 자기-광 매체, 다른 타입의 저장 디바이스 및 저장 매체, 또는 이의 임의의 적합한 조합을 포함할 수 있다.

[0149] 특정한 예에서, 본 문서에 기술된 동작, 기법, 프로세스, 또는 이의 어떤 양상이나 부분은 컴퓨터 프로그램 제품 내에 구체화될 수 있다. 그러한 컴퓨터 프로그램은 컴퓨터에 의해 실행될 수 있는 어떤 유형의 (가령, 컴파일형(compiled) 또는 해석형(interpreted)) 프로그래밍 언어, 예컨대, 어셈블리(assembly), 기계어(machine language), 프로시저형(procedural) 언어, 객체지향(object-oriented) 언어 등등으로 구현될 수 있고, 하드웨어 구현과 조합될 수 있다. 컴퓨터 프로그램 제품은 컴퓨터 판독가능 저장 매체의 형태로 배포될 수 있거나 온라인으로 배포될 수 있다. 온라인 배포를 위해, 컴퓨터 프로그램 제품의 일부 또는 전부가 서버(가령, 서버의 컴퓨터 판독가능 저장 매체) 내에 일시적으로 저장되거나 일시적으로 생성될 수 있다.

[0150] 이상의 설명은 상세하게 몇몇 예를 예시하고 기술하기 위해 제시되었다. 본 개시의 범주에서 벗어나지 않고서 위의 교시에 비추어 많은 수정 및 변형이 가능함을 당업자는 응당 이해할 것이다. 다양한 예에서, 전술된 기법이 상이한 순서로 수행되고/거나, 전술된 시스템, 아키텍처, 디바이스, 회로 및 유사한 것의 컴포넌트 중 일부가 상이한 방식으로 결합 또는 조합되거나, 다른 컴포넌트 또는 이의 균등물에 의해 대체 또는 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0151] 그러므로, 본 개시의 범주는 개시된 그 형태에 한정되어서는 안 되며, 후술하는 청구항 및 이의 균등물에 의해 정해져야 한다.

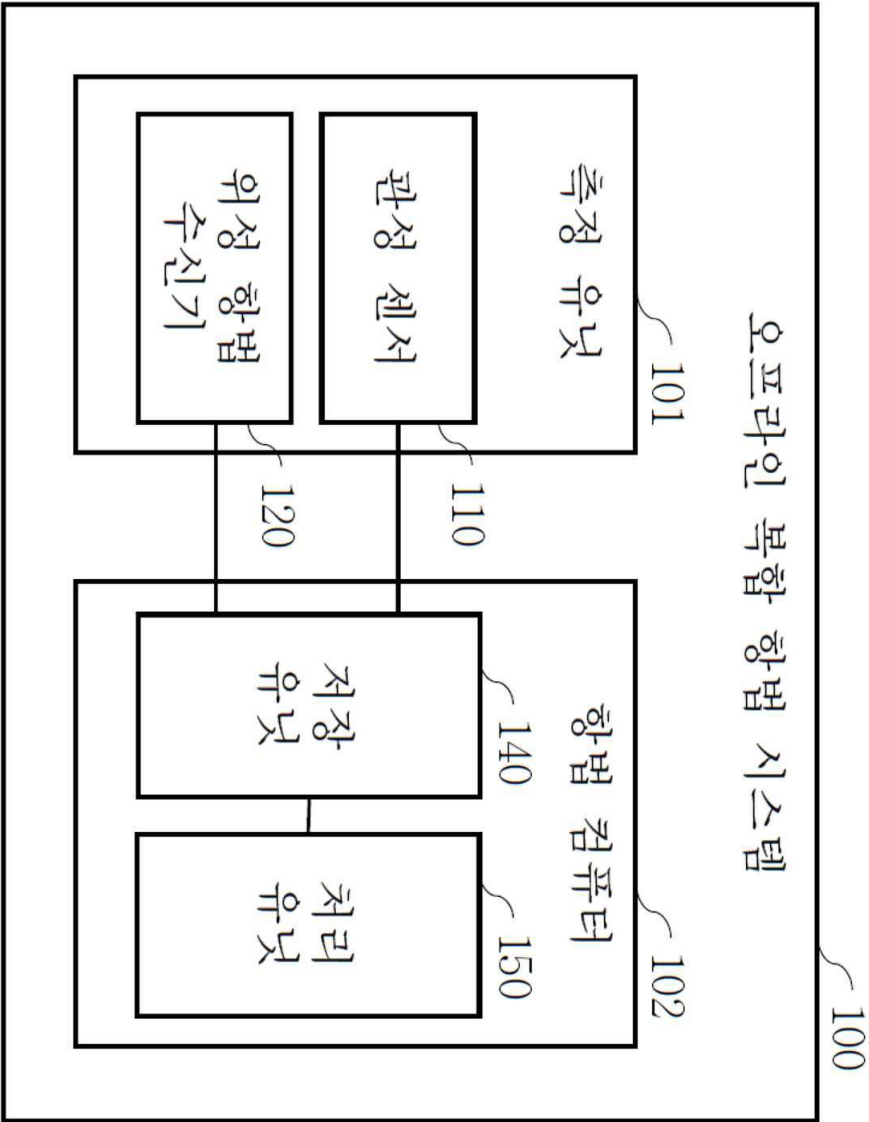
부호의 설명

[0152] 100: 오프라인 복합 항법 시스템
110: 관성 센서
120: 위성 항법 수신기
140: 저장 유닛
150: 처리 유닛
210: 고정 간격 스무딩
220: 데이터 융합
310: 정방향 필터

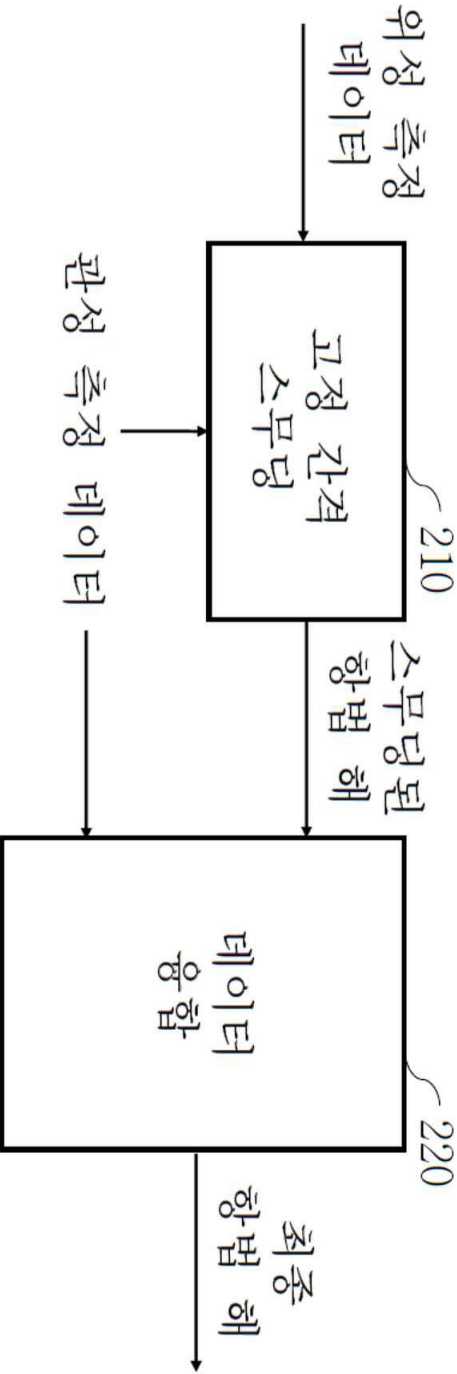
- 320: 역방향 필터
- 330: 조합기
- 410: 관성 항법 시스템
- 420: 칼만 필터

도면

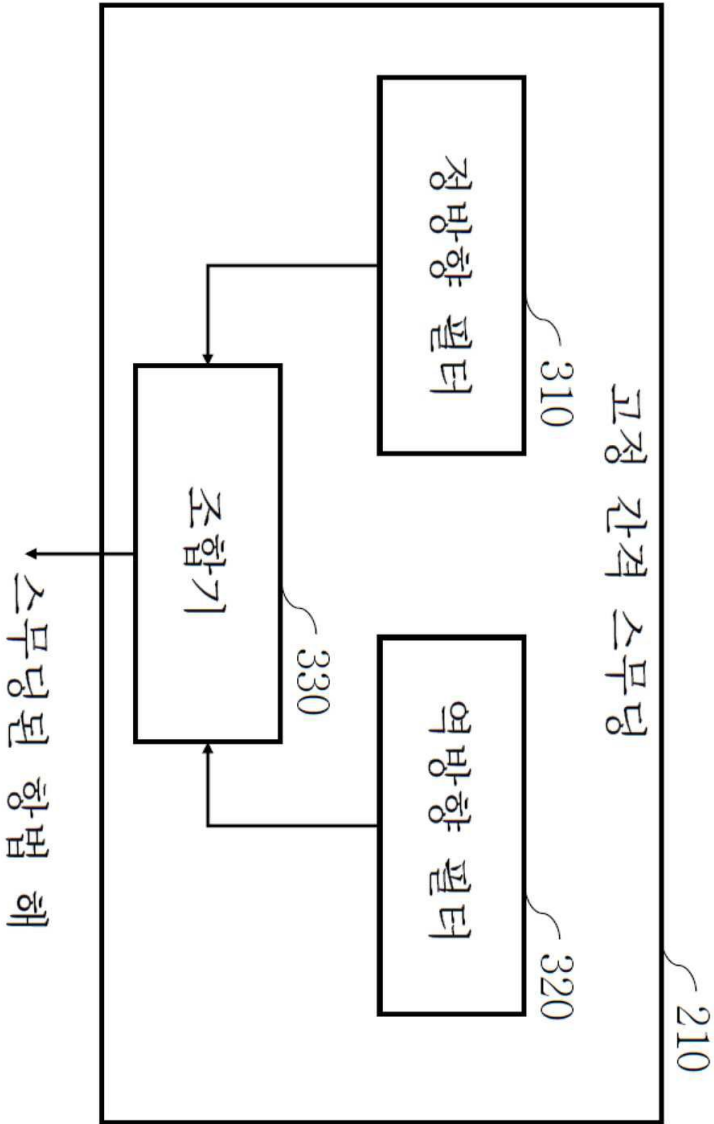
도면1



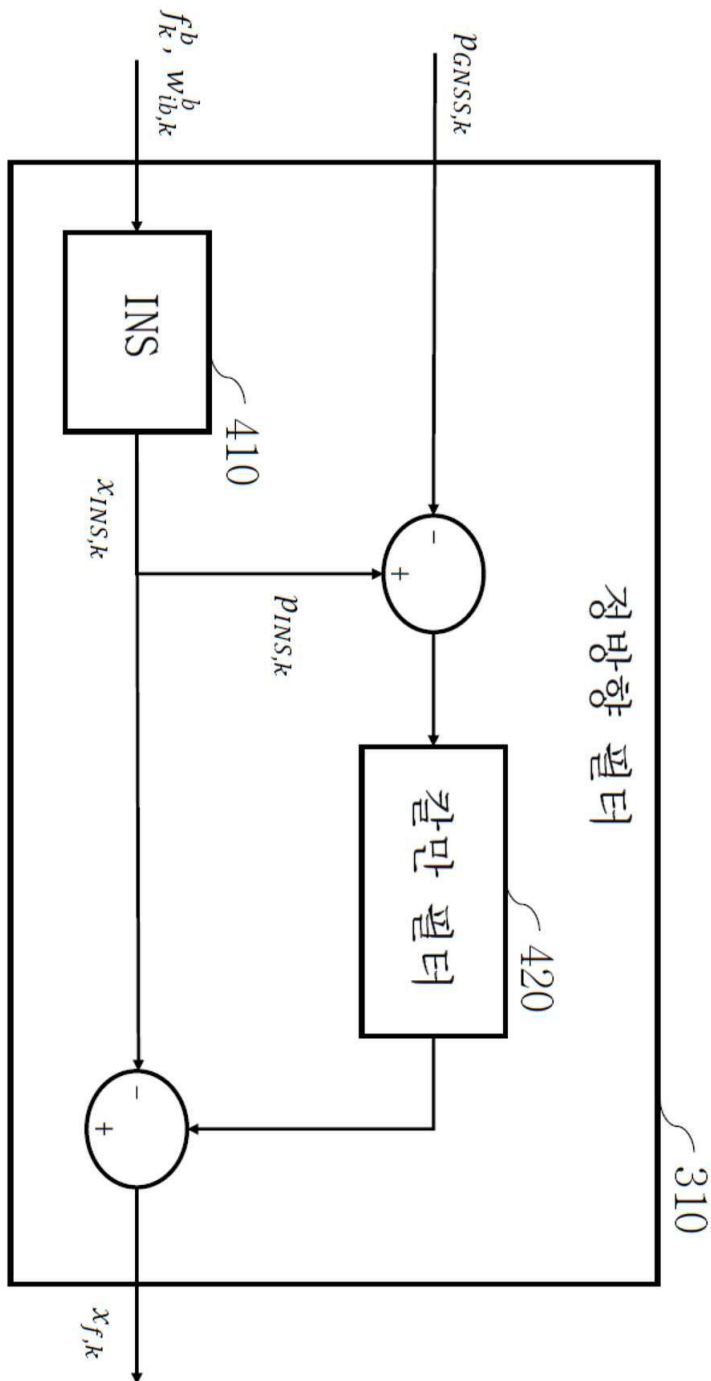
도면2



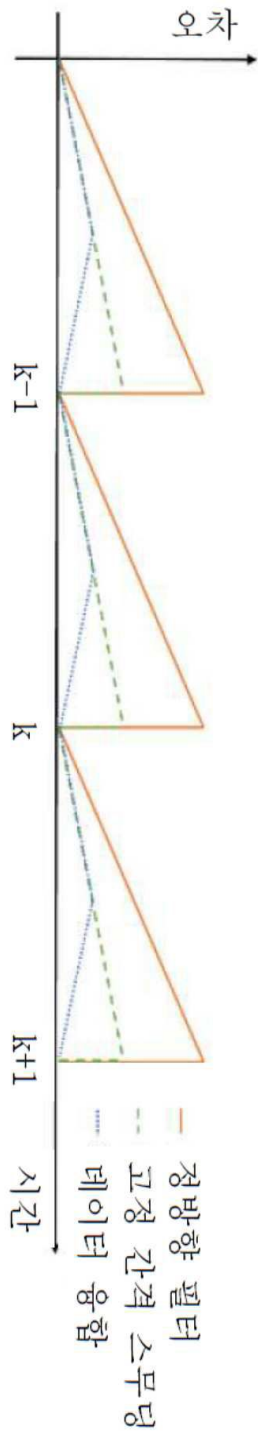
도면3



도면4



도면5



도면6

