(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0016781
(43) 공개일자 2014년02월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 19/05 (2010.01)
(21) 출원번호 10-2012-0084208
(22) 출원일자 2012년07월31일
심사청구일자 2012년07월31일
기술이전 희망 : 기술양도

전체 청구항 수 : 총 7 항

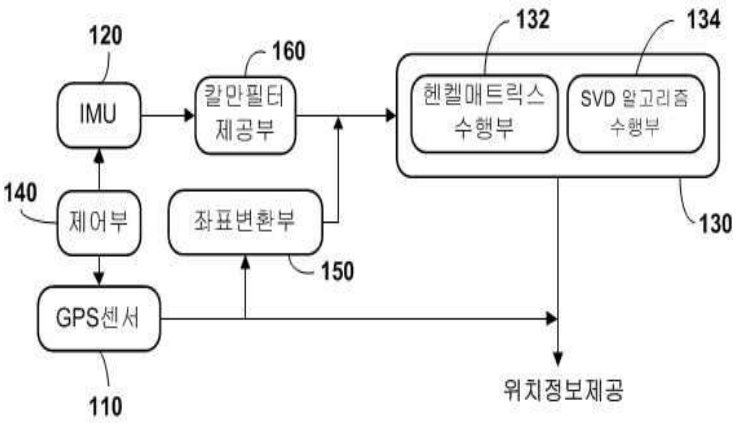
(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93
(72) 발명자
김한실
울산광역시 중구 신기3길 28, 1002호(태화동, 삼익그린맨션)
(74) 대리인
김종선, 이형석

(54) 발명의 명칭 **GPS와 IMU의 데이터 융합에 의한 위치 정보 획득장치 및 그의 위치 정보 획득방법**

(57) 요 약

본 발명은 GPS와 IMU의 데이터 융합에 의한 위치 정보 획득장치 및 그의 위치 정보 획득방법에 관한 것이다. 본 발명은, 적어도 하나 이상의 위성으로부터 GPS 신호를 수신하는 GPS 센서와,이동체의 움직임에 따른 관성데이터를 측정하는 관성측정장치(IMU)와, GPS 신호의 수신 여부를 감시하는 제어부와, 상기 제어부의 감시결과, 상기 GPS 신호가 미수신되는 경우 상기 GPS 센서가 제공한 입력 데이터를 가공하여 상기 관성측정장치에 의해 이동체의 위치정보를 제공하도록 GPS 센서가 제공한 입력 데이터를 헨켈 매트릭스(Hankel Matrix) 형태로 변환하는 매트릭스 수행부와, 변환된 상기 헨켈 매트릭스를 가공하여 상기 이동체의 위치정보를 제공하는 SVD(SVD : Singular Value Decomposition) 알고리즘 수행부를 포함하여 구성된다. 그리고 더욱이 GPS 센서와 상기 관성측정장치의 좌표계를 상호 변환하도록 방향코사인행렬(Direction Cosine Matrix)이 적용되는 좌표 변환부와, 상기 관성측정장치의 오차 누적을 상쇄하기 위해 칼만 필터(Kalman Filter) 제공부를 더 포함하고 있다. 이와 같은 본 발명에 따르면, GPS 수신 불능지역에서도 고정밀도의 위치정보를 제공할 수 있는 이점이 있다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2011-0686
부처명	울산테크노파크 지역산업평가단
연구사업명	지역기반육성기술개발사업
연구과제명	센서 융합을 이용한 자동 항법(Auto Pliot)
기 여 율	1/1
주관기관	울산대학교 산학협력단
연구기간	2011.08.01 ~ 2012.07.31

특허청구의 범위

청구항 1

적어도 하나 이상의 위성으로부터 GPS 신호를 수신하는 GPS 센서;

이동체의 움직임에 따른 관성데이터를 측정하는 관성측정장치(IMU);

GPS 신호의 수신 여부를 감시하는 제어부; 및

상기 제어부의 감시결과, 상기 GPS 신호가 미수신되는 경우 상기 GPS 센서가 제공한 입력 데이터를 가공하여 상기 관성측정장치에 의해 이동체의 위치정보를 제공하는 데이터 처리부를 포함하는 GPS와 IMU의 데이터 융합에 의한 위치 정보 획득장치.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 데이터 처리부는,

상기 GPS 센서가 제공한 입력 데이터를 헨켈 매트릭스(Hankel Matrix) 형태로 변환하는 매트릭스 수행부와,

변환된 상기 헨켈 매트릭스를 가공하여 상기 이동체의 위치정보를 제공하는 SVD(SVD : Singular Value Decomposition) 알고리즘 수행부를 포함하여 구성됨을 특징으로 하는 GPS와 IMU의 데이터 융합에 의한 위치 정보 획득장치.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 GPS 센서와 상기 관성측정장치의 좌표계를 상호 변환하는 좌표 변환부와,

상기 관성측정장치의 오차 누적을 상쇄하기 위해 칼만 필터(Kalman Filter) 제공부를 더 포함하여 구성됨을 특징으로 하는 GPS와 IMU의 데이터 융합에 의한 위치 정보 획득장치.

청구항 4

제 3항에 있어서, 상기 좌표 변환부에는,

상기 GPS 센서의 항법좌표계와 상기 관성측정장치의 동체좌표계를 상호 변환하도록 방향코사인행렬(Direction Cosine Matrix)이 제공됨을 특징으로 하는 GPS와 IMU의 데이터 융합에 의한 위치 정보 획득장치.

청구항 5

GPS 센서가 GPS 신호를 수신하여 이동체의 위치정보를 제공하는 단계;

상기 GPS 신호가 미수신되는 경우, 미수신되기 이전까지의 GPS 입력데이터를 관성측정장치가 입력받아 헨켈 매트릭스(Hankel Matrix) 형식으로 변환하는 단계;

변환된 상기 헨켈 매트릭스 형식을 SVD(SVD : Singular Value Decomposition) 알고리즘을 통해 모델링을 수행하여, 상기 이동체의 위치정보를 계속 제공하는 단계를 포함하는 GPS와 IMU의 데이터 융합에 의한 위치 정보 획득방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 GPS 신호를 수신하는 GPS 센서와 상기 관성측정장치의 좌표 동기화를 위하여 방향코사인행렬(Direction Cosine Matrix)을 사용하는 것을 특징으로 하는 GPS와 IMU의 데이터 융합에 의한 위치 정보 획득방법.

청구항 7

제 5항에 있어서,

상기 관성측정장치가 측정한 결과 값에 대한 노이즈를 제거하도록 칼만필터(Kalman Filter)를 적용하는 것을 특징으로 하는 GPS와 IMU의 데이터 융합에 의한 위치 정보 획득방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 위치 정보 획득장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 위성항법시스템(GPS)의 신호 수신 불능지역에서는 관성측정장치(IMU)에 의해 측정된 데이터를 특이값 분석(SVD : Singular Value Decomposition)과 헨켈 매트릭스(Hankel Matrix)를 이용하여 정확한 위치정보를 획득할 수 있도록 하는 GPS와 IMU의 데이터 융합에 의한 위치 정보 획득장치 및 그의 위치 정보 획득방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 위치를 추적하기 위한 방법은 위성항법시스템(GPS)과 관성항법시스템(INS : Inertial Navigation System)이 있다.

[0003] 첫 번째, 위성항법시스템은 궤도를 도는 24개의 위성에서 발신하는 전파를 GPS 수신기가 수신하여 수신기의 위치벡터를 결정하는 방식이고, 아울러 어느 지점의 위치에 대한 위치정보를 획득하기 위해서는 적어도 4개 이상의 위성으로부터 정보를 수신해야 한다. 이러한 위성항법시스템은 소정의 한 지점에 대한 오차가 발생할 수 있으나 누적 오차가 없기 때문에 무기유도, 항법, 측량, 지도제작 등의 군용 및 민간용 목적으로 널리 사용되고 있다. 하지만 위성항법시스템은 위성으로부터 신호 수신 강도가 약하거나 터널과 같은 수신 불능 지역에서는 위성으로부터 정보를 획득할 수 없었다.

[0004] 두 번째, 관성항법시스템은 자이로스코프에서 방위 기준을 정하고 가속도계를 이용하여 이동변위를 구하는 방식으로, 최초 위치를 입력하면 이동체가 이동해도 이동체 자신의 위치와 속도를 항상 계산하여 파악할 수 있다. 이 관성항법시스템은 악천후나 전파방해의 영향을 받지 않고 짧은 시간 동안 매우 정밀한 항법 성능을 제공한다. 하지만 가속도 및 각속도에서 속도성분으로 적분하는 과정에서 오차가 누적되기 때문에 긴 거리를 이용하면 항법 오차가 증가하게 되는 문제가 있다.

[0005] 따라서, 근래에는 위성항법시스템과 관성항법시스템 등을 결합하여 위치를 보정하는 방안에 대한 연구가 진행되고 있다. 이들 연구들의 실시 예들을 살펴본다.

[0006] Xiaoying Kong은 'INS algorithm using quatermion model for low cost IMU, Robotics and Autonomous System 46 (2004) 221-246.'에서 관성항법시스템(INS)에 저가형 관성측정장치(IMU : Inertial Measurement Unit)의 쿼터니언 모델 알고리즘을 적용하여 위성항법시스템을 결합하는 방식을 제안하였다.

[0007] Huiling Tan은 'Measurement of stride parameters using a wearable GPS and inertial measurement unit, Journal of Biomechanics 41 (2008) 1398-1406.'에서 저가형 위성항법시스템과 관성측정장치(IMU)의 결합과정을 약 결합(Loosely coupled system)을 하였고 이에 NovAtel사의 GPS를 기준으로 비교하는 방식을 제안하고 있다.

[0008] Johan Bijker는 'Kalman filter configurations for a low-cost loosely intergrated inertial navigation system on an airship, Control Engineering Practice 16 (2008) 1509 -1518.'를 통해 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filters)를 두 번 사용하면서 위성항법시스템과 관성항법시스템의 결합과정을 약 결합(Loosely coupled system)하는 방식을 제안하고 있다. 여기서 확장 칼만 필터의 첫 번째는 비행선의 자세를 추정하는데 사용되며 두 번째는 비행선의 속도와 위치를 추정하는데 사용되고 있다.

[0009] Gert F. Tromme은 'Tightly coupled GPS/INS integration for missile applications, Aerospace Science and Technology 8 (2004) 627 -634.'를 통해 위성항법시스템과 관성항법시스템의 결합과정을 강결합(Tightly coupled system)을 사용하는 방식을 제안하고 있다. 이는 강 결합에서의 위치 및 속도 정보의 처리 능력이 약 결합에 비하여 우수함을 확인시켜 주기 위한 것이다.

[0010] Zhi Shen은 기존의 칼만-필터가 아닌 kalman filter/Fast Orthogonal Search(FOS)를 사용하여 고정밀 위성항법시스템을 참고하여 성능을 확인하고 있다. 이는 'Low cost two dimension navigation using an augmented Kalman filter/Fast Orthogonal Search module for the integration of reduced inertial sensor system and

Global Positioning System, Transportation Research Part C 19 (2011) 1111-1132'를 통해 확인할 수 있다.

[0011] A. Ndjeng Ndjeng은 위성항법시스템과 관성측정장치의 결합과정을 약 결합(Loosely coupled system)하는 방식을 채택하였으며, 위성항법시스템이 수신 불능지역일 때에는 주행거리측정장치(Digital map)를 사용하여 보정하는 방안을 제시하고 있다. 이는 'Collision avoidance support in roads with lateral and longitudinal maneuver prediction by fusing GPS/IMU and digital maps, Information Fusion 12 (2011) 264 - 274'에 나타나 있다.

[0012] 또한 대한전자공학회 하계종합학술대회, 제30권 1호, 947~948쪽 2007년 7월'에 발표된 'GPS/INS 강결합 및 초강결합 시스템에 대한 EKP와 UKF 성능비교(조영석, 양철관, 박진우, 심덕선)'에서는 강결합 및 초강결합 시스템에 대한 성능비교 분석을 통한 연구가 진행된 바 있다.

[0013] 이와 같이 위성항법시스템(GPS)과 관성항법시스템(INS), 관성측정장치 등을 서로 결합하여 위치 정보를 좀 더 정확하게 획득하려는 다양한 방안들이 모색되고 있다. 이는 각각의 단점을 보완할 수 있기 때문에 하나의 방식을 사용했을 때보다 위치 정보를 좀 더 정밀하게 획득할 수 있는 이점을 제공할 수 있다.

[0014] 그렇지만 상술한 선행기술들은 위성항법시스템과 관성항법시스템, 관성측정장치 들이 범용이 아닌 미리 정해진 장치를 사용하여 연구에 활용하고 있다. 즉 이는 장치 활용에 대한 적용범위가 한정될 수밖에 없어, 연구에 적용된 장치와 다른 장치 즉 제조사나 사양이 상이한 위성항법시스템 및 센서 등을 적용할 경우 선행기술들이 제시한 연구 결과가 보장받지 못하는 문제를 초래할 수 있다. 이 경우 관련 연구들은 다시 성능 비교 등을 수행해야 하는 일련의 과정이 반복되어 수행되어야만 할 것이다.

[0015] 그리고, 상술한 선행기술들에 의해 얻어진 위치정보에 비하여 보다 정밀도가 높은 위치정보를 획득하기 위한 다른 방안에 대한 필요성도 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 본 발명의 목적은 상기한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 위성항법시스템과 관성측정장치가 상호 융합되어 위치 정보를 획득할 때, 그 위성항법시스템과 관성측정장치의 제조사 및 사양에 상관없이 위치 정보의 획득이 가능하도록 하는 것이다.

[0017] 본 발명의 다른 목적은 위성항법시스템과 관성측정장치의 서로 다른 데이터 형식을 동기화하면서 관성측정장치의 오차 누적을 상쇄하도록 하여 정확한 위치정보를 획득할 수 있도록 한 것이다.

과제의 해결 수단

[0018] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따르면, 적어도 하나 이상의 위성으로부터 GPS 신호를 수신하는 GPS 센서; 이동체의 움직임에 따른 관성데이터를 측정하는 관성측정장치(IMU); GPS 신호의 수신 여부를 감시하는 제어부; 및 상기 제어부의 감시결과, 상기 GPS 신호가 미수신되는 경우 상기 GPS 센서가 제공한 입력 데이터를 가공하여 상기 관성측정장치에 의해 이동체의 위치정보를 제공하는 데이터 처리부를 포함하는 GPS와 IMU의 데이터 융합에 의한 위치 정보 획득장치가 제공된다.

[0019] 여기서, 상기 데이터 처리부는, 상기 GPS 센서가 제공한 입력 데이터를 헨켈 매트릭스(Hankel Matrix) 형태로 변환하는 매트릭스 수행부와, 변환된 상기 헨켈 매트릭스를 가공하여 상기 이동체의 위치정보를 제공하는 SVD(SVD : Singular Value Decomposition) 알고리즘 수행부를 포함하여 구성됨을 특징으로 한다.

[0020] 또한 본 발명은 상기 GPS 센서와 상기 관성측정장치의 좌표계를 상호 변환하는 좌표 변환부와, 상기 관성측정장치의 오차 누적을 상쇄하기 위해 제공된 칼만 필터(Kalman Filter)를 더 포함하여 구성된다.

[0021] 그리고 상기 좌표 변환부에는, 상기 GPS 센서의 항법좌표계와 상기 관성측정장치의 동체좌표계를 상호 변환하도록 방향코사인행렬(Direction Cosine Matrix)이 제공된다.

[0022] 본 발명의 다른 특징에 따르면, GPS 센서가 GPS 신호를 수신하여 이동체의 위치정보를 제공하는 단계; 상기 GPS 신호가 미수신되는 경우, 미수신되기 이전까지의 GPS 입력데이터를 관성측정장치가 입력받아 헨켈 매트릭스(Hankel Matrix) 형식으로 변환하는 단계; 및 변환된 상기 헨켈 매트릭스 형식을 SVD(SVD : Singular Value Decomposition) 알고리즘을 통해 모델링을 수행하여, 상기 이동체의 위치정보를 계속 제공하는 단계를 포함하는

GPS와 IMU의 데이터 융합에 의한 위치 정보 획득방법이 제공된다.

[0023] 여기서, 본 발명은 상기 GPS 신호를 수신하는 GPS 센서와 상기 관성측정장치의 좌표 동기화를 위하여 방향코사인행렬(Direction Cosine Matrix)을 사용하는 것을 특징으로 한다.

[0024] 또한, 상기 관성측정장치가 측정한 결과 값에 대한 노이즈를 제거하도록 칼만필터(Kalman Filter)를 적용하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0025] 이와 같은 본 발명의 GPS와 IMU의 데이터 융합에 의한 위치 정보 획득장치 및 그의 위치 정보 획득방법에 따르면, SVD 알고리즘과 헨켈 매트릭스를 사용하여 데이터를 제공하고 있어, GPS 수신 불능지역에서도 고정밀의 위치정보를 제공할 수 있는 효과가 있다.

[0026] 또한 본 발명은, 종래 GPS와 IMU를 각각 사용할 때보다 정확한 위치정보의 획득이 가능하고, 저가형 GPS 센서의 사용이 가능하여 비용을 절감할 수 있는 효과도 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 위치 정보 획득장치의 구성도

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 IMU를 통하여 위치정보를 획득할 때, GPS 입력 데이터를 매트릭스 형태로 변환된 예를 보인 도면

도 3 및 도 4는 본 발명의 실시 예에 따라 분석에 사용된 GPS의 측정 결과를 보인 도면

도 5는 본 발명에 따른 저가형 스마트 GPS와 IMU를 결합한 상태에서의 자이로 센서 Roll 가속도의 실체 출력 파형을 나타낸 도면

도 6은 도 5의 출력 파형을 칼만필터를 적용하여 노이즈를 제거한 출력파형을 나타낸 도면

도 7은 도 6의 출력 파형을 적분과정을 수행하여 출력되는 자이로센서의 속도 파형

도 8은 IMU와 GPS의 시간에 따른 위도와 경도의 오차 누적을 나타낸 도면

도 9는 도 8에 나타난 오차 누적을 칼만 필터를 적용하여 상쇄시킨 상태를 보인 도면

도 10a 및 도 10b는 본 발명의 실시 예가 적용된 융합형 센서와 기존의 단독으로 사용된 GPS나 IMU 센서, 그리고 고가형 GPS에 의해 나타난 결과 값을 서로 비교하기 위해 제시된 도면

도 11 및 도 12는 GPS 불능 지역에서 IMU 정보만으로 위치정보를 측정하는 경우와 본 실시 예의 SVD 알고리즘을 적용하여 위치정보를 측정할 때의 오차 발생 여부를 설명하기 위해 제시된 도면

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 이하 본 발명에 의한 GPS와 IMU의 데이터 융합에 의한 위치 정보 획득장치 및 그의 위치 정보 획득방법의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0029] 본 발명은 위성항법시스템의 신호 수신불능 지역에서는 관성측정장치의 정보를 특이 값(SVD)과 헨켈 매트릭스(Hankel Matrix)를 이용하는 것이다.

[0030] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 위치 정보 획득장치의 구성도를 보인 도면이다. 도 1에 도시된 바와 같이 위치 정보 획득장치는, 이동체에 장착된 GPS 센서(110) 및 관성측정장치(IMU)(120)를 구비한다.

[0031] GPS 센서(110)는 GPS 위성에서 보내는 신호를 수신하여 이동체의 위치를 계산하는 역할을 한다.

[0032] IMU(120)는 이동체의 움직임에 따른 관성데이터를 측정하는 역할을 한다. IMU(120)에 주로 사용되는 센서는 자이로스코프(Gyroscope)와 가속도계(Acceleration sensor)가 있으며, 'Micro infinity'사의 IMU를 사용한다. 실시 예에서 IMU(120)는 GPS가 위성으로부터 GPS 신호를 수신받지 못하는 지역, 예컨대 터널이나 기타 산악지역 등과 같은 음영지역에서 이동체의 위치 정보를 획득하기 위하여 사용된다. 즉 IMU(120)는 상술한 바와 같이 위치 측정의 큰 장점을 제공하나, 이동시간이 길어짐에 따라 오차가 증가하는 단점을 GPS 센서(110)를 이용하여 보완하는 것이다.

[0033] 또한 IMU(120)에 의하여 위치 정보를 획득할 수 있도록 데이터 처리부(130)가 구비된다. 데이터 처리부(130)는, GPS 불능 지역인 경우 위치 정보를 제공할 수 있도록 GPS 입력 데이터를 기초로 하고 있다. 이를 위해 데이터 처리부는 헨켈 매트릭스(Hankel matrix) 수행부(132)와 SVD 알고리즘 수행부(134)를 구비한다. 헨켈 매트릭스 수행부(132)는 SVD 알고리즘을 사용하기 위하여 GPS 입력데이터를 헨켈 매트릭스 형태로 변환하는 역할을 제공한다. 그리고 상기 SVD 알고리즘 수행부(134)은 IMU(120)의 정보를 통해 이동체의 위치정보를 획득하기 위한 것이다. 상술한 헨켈 매트릭스 및 SVD 알고리즘은 본 발명의 실시 예를 설명하면서 상세하게 살펴보기로 할 것이다.

[0034] 또한, 본 발명의 실시 예에는 이동체의 주행에 따라 GPS 센서(110) 또는 IMU(120)로부터 위치정보를 제공받도록 제어하는 제어부(140)가 구비된다. 통상 제어부(140)는 본 발명의 위치정보 획득장치의 전체적인 동작을 제어하게 되며, 특히 GPS 신호의 수신 여부를 판단하여, 선택적으로 GPS 센서(110) 또는 IMU(120)를 통한 위치 정보가 제공될 수 있도록 한다. 이러한 제어부(140)는 이동체, 예컨대 차량인 경우 ECU(Electronic control unit)이거나 이와는 별도의 CPU 일 수 있다.

[0035] 또한 본 발명의 실시 예는 GPS 센서(110)와 IMU(120)가 지원하는 데이터를 동기화하기 위하여 방향코사인행렬(DCM)을 수행하는 좌표변환부(150) 및 상기 IMU(120)에서 출력되는 결과 값의 오차 누적을 상쇄하기 위하여 칼만필터 제공부(160)가 더 구성된다.

[0036] 이와 같이 GPS 센서 및 IMU를 포함한 구성에서 GPS 센서 또는 IMU를 이용하여 이동체의 위치정보를 획득하는 과정을 첨부된 도면들을 참조하여 설명한다.

[0037] 제어부(140)는 이동체가 주행중에 GPS 신호가 수신되고 있는지의 여부를 상시 감시한다.

[0038] 감시 결과, GPS 신호가 수신되는 경우에는 제어부(140)는 GPS 센서(110)를 통해 위치정보를 제공받도록 제어한다. 상기 GPS 센서(110)를 통한 위치정보를 제공받는 경우는 이동체가 위성으로부터 신호를 수신할 수 있는 환경이면 언제나 가능하다. 즉, GPS 신호를 이용할 수 있는 조건인 경우에는 IMU(120)의 기능 수행 없이 GPS 센서(110)를 단독으로 사용하여 이동체의 현재 위치정보를 정확하게 제공받게 된다.

[0039] 한편, GPS 신호의 수신이 불능인 경우, 예컨대 이동체가 위성으로부터 신호를 수신받지 못하는 음영지역에 진입하여 주행할 때에는 제어부(140)는 GPS 센서(110) 대신 IMU(120)를 통하여 위치정보를 제공하도록 제어하게 된다. 이의 과정은 다음과 같다.

[0040] 제일 먼저 GPS의 불능지역 전까지의 입력 데이터 모델링(modeling)이 필요하다. 모델링은 SVD 알고리즘을 사용하기 위한 것으로, 이를 위하여 헨켈 매트릭스 수행부(132)는 GPS 입력데이터를 헨켈 매트릭스 형식으로 변환하게 된다. GPS 입력데이터는 GPS 신호를 수신받지 못하는 음영지역에 진입하기 이전의 데이터를 말하는 것이고, 통상 GPS 센서(110)가 가지고 있는 정보들을 나타낸다.

[0041] 이렇게 GPS 입력데이터가 헨켈 매트릭스 형태로 변환된 예를 도 2에 도시하고 있다. 도 2를 보면 입력된 GPS 데이터가 행렬 형태로 변환된 상태이다.

[0042] 그리고, 도 2에 도시된 행렬을 GPS - 헨켈 매트릭스의 변환수식으로 다시 나타내면 수학식 [1]과 같다.

수학식 1

[0043] $$y=\begin{pmatrix} y(1,1) & y(1,2) & y(1,3) \\ y(2,1) & y(2,2) & y(2,3) \\ y(3,1) & y(3,2) & y(3,3) \end{pmatrix}$$

[0044] 여기서, 상기 [수학식 1]에서 유일해를 가지지 못하는 불량조건문제(Ill-poser Problem)을 예방하기 위하여 불량조건문제의 해결을 위하여 헨켈 매트릭스 행렬은 다음의 [수학식 2] 및 [수학식 3]를 사용한다.

수학식 2

[0045] $$H = v^* v'$$

수학식 3

[0046] $$H = U \Sigma V^T$$

[0047] 이렇게 구해진 상기 [수학식 3]의 헨켈 매트릭스 행렬 H를 SVD 알고리즘 수행부(134)는 SVD 알고리즘을 이용하여 모델링을 수행한다. 모델링은 하기의 과정을 따라 수행되며, 이때 모델링을 하기 위해서는 U, V, Σ 값을 구해야 한다.

[0048] 먼저 Σ값을 구하기 위해서는 λ(경도)값을 이용한다. 하기의 [수학식 4]는 상기 λ값을 구하기 위한 식이다.

수학식 4

[0049] $$|H - \lambda I| = 0$$

$$\begin{pmatrix} H(1,1) & H(1,2) & H(1,3) \\ H(2,1) & H(2,2) & H(2,3) \\ H(3,1) & H(3,2) & H(3,3) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \end{pmatrix} = 0$$

$$\begin{pmatrix} H(1,1)-\lambda & H(1,2) & H(1,3) \\ H(2,1) & H(2,2)-\lambda & H(2,3) \\ H(3,1) & H(3,2) & H(3,3)-\lambda \end{pmatrix} = 0$$

[0050] 상기 [수학식 4]를 이용하여 λ를 구하면, 그 λ는 상기 [수학식 3]에 기재된 Σ의 3근 σ이 된다.

[0051] 따라서, Σ는 하기의 [수학식 5]와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

[0052] $$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3^2 \end{pmatrix}$$

[0053] 또한 [수학식 3]의 U 및 V는 하기의 [수학식 6]를 이용하여 구한다.

수학식 6

[0054] $$HU_i = \sigma^{2i} U_i$$

$$V_i H = \sigma^{2i} V_i$$

[0055] 그리고 상술한 [수학식 4] 내지 [수학식 6]를 통해 구해진 Σ, U 및 V을 이용하여 모델링을 위한 기본적인 입출

력 관계식을 하기의 [수학식 7] 및 [수학식 8]과 같이 구한다.

수학식 7

$$H = U\begin{pmatrix}\overline{\Sigma} & 0\\ 0 & 0\end{pmatrix}V^T = \overline{U}\,\overline{\Sigma}\,\overline{V}^T$$

$$H, U, V = N \times N$$

$$\overline{U}: N \times n$$
$$\overline{\Sigma}: n \times n$$
$$\overline{V}: n \times N$$

[0056]

수학식 8

$$U = \begin{pmatrix} U(1,1) & U(1,2) & U(1,3) \\ U(2,1) & U(2,2) & U(2,3) \\ U(3,1) & U(3,2) & U(3,3) \end{pmatrix}$$

$$\overline{U}\uparrow = \begin{pmatrix} U(2,1) & U(2,2) & U(2,3) \\ U(3,1) & U(3,2) & U(3,3) \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

[0057]

[0058] 그리고, 상기 모델링을 위한 입출력 관계식이 구해지면 모델링 계수를 구하기 위한 식은 [수학식 9]와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 9

$$A = \Sigma^{-\frac{1}{2}} U^T \overline{U}\uparrow \Sigma^{\frac{1}{2}}$$

$$B = \Sigma^{\frac{1}{2}} \text{의 첫번째 행과 } \overline{V}^T \text{와 곱}$$

$$C = \overline{U} \text{의 첫번째 열과} \Sigma^{\frac{1}{2}} \text{의 곱}$$

[0059]

[0060] 이후, 전술한 수학식 들을 이용하면 입력과 출력 관계식은 [수학식 10]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 10

$$X_{i+1} = A \times X_i + B \times W_i$$

$$Y_i = C \times X_i$$

[0061]

[0062] 여기서 X_i는 현재 위치이고, X_{i+1} 은 다음 위치 정보로서, 이를 통해 현재 위치를 통해 다음 위치를 예측할 수 있

게 된다.

[0063] 따라서, IMU를 통한 위치정보를 제공하는 식은 하기의 [수학식 11]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 11

$$\underline{r}^{n}_{k+1} = \underline{r}^{n}_{k} + 0.5 \begin{pmatrix} \frac{1}{R_N + h} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{(R_E + h)\cos\varphi} & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

[0064] $$\times (\underline{v}^{n}_{k} + \Delta \underline{v}^{n}_{k+1}) \Delta t$$

[0065] 여기서, 위치 $\underline{r}^{n}$ 는 $(\varphi, \lambda, h)^{T}$로 각각 위도, 경도, 고도를 나타내고 있다.

[0066] 또한 $(\underline{v}^{n}_{k} + \Delta \underline{v}^{n}_{k+1}) \Delta t$ 는 속도정보를 나타낸다.

[0067] 또한 R_N은 북쪽 자오선 방향을 가리키고 R_E는 동쪽 방향 곡률의 반경을 가리키고 있으며 다음의 [수학식 12] 및 [수학식 13]과 나타낼 수 있다.

수학식 12

[0068] $$R_N = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2\varphi)^{\frac{3}{2}}}$$

수학식 13

[0069] $$R_E = \frac{a}{(1-e^2 \sin^2\varphi)^{\frac{1}{2}}}$$

[0070] 그리고 [수학식 12] 및 [수학식 13]에 표현된 e는 하기 [수학식 14]와 같이 이심률을 나타내고 있으며, a는 지구 타원의 장축, b는 지구 타원의 단축 정보를 말한다.

수학식 14

[0071] $$e=\sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2}}$$

[0072] 이와 같이 본 실시 예는 GPS 입력 데이터를 기초로 SVD 알고리즘을 적용하여 [수학식 11]과 같이 위치정보를 제공하기 위한 식을 유도함으로써, GPS 불능 지역일 경우에도 위치정보를 제공하고 있게 됨을 알 수 있다.

[0073] 한편, 본 실시 예는 IMU(120)가 측정한 측정 값의 오차를 상쇄시키기 위하여 칼만필터 제공부(160)가 제공하는 칼만필터를 사용하고 있다. 칼만 필터 제공부(160)는 상태변수($\underline{x}$)의 최종 추정치($\hat{\underline{x}}$)를 구하는 방법으로, 상태변수의 오차분산($E[(\underline{x}-\hat{\underline{x}})(\underline{x}-\hat{\underline{x}})^T]$)을 최적화는 하는 필터이다.

[0074] 이는 예측(Prediction)과 보정(Correction) 과정의 2단계로 구분되며 다음과 같이 진행된다.

[0075] 먼저 초기값을 선정한다.

[0076] 그 다음에는 선정된 초기값에 대하여 추정값(Estimated value)과 오차 공분산(Error covariance)을 예측한다.

[0077] 그리고 상기의 예측된 추정값과 오차 공분산 값을 가지고 칼만 이득(Kalman gain)을 구한다.

[0078] 이렇게 칼만 이득이 계산되면, 상기 예측한 추정값의 실제 추정값을 계산하고, 이후 오차 공분산 값을 계산하게 된다.

[0079] 한편, GPS 센서(110)와 IMU(120)는 서로 다른 좌표계를 사용한다. 즉 GPS센서(110)는 항법좌표계(Navigation frame, N-frame)로 구성된다. 항법좌표계는 항체의 질량 중심을 원점으로 하고, x^n축이 북쪽, y^n축은 동쪽, Z^n축이 수직 아래 쪽으로 정의되는 local-level 좌표계이다. 또한 IMU(120)는 동체좌표계(Body frame, B-frame)로 구성된다. 동체좌표계는 관성 센서를 위한 좌표계로서 이동체의 질량 중심에 원점을 두고 이동체의 운동방정식을 유도하는데 사용된다.

[0080] 따라서 IMU(120)를 이용한 위치정보를 계산하기 위해서는 항법 좌표계와 동체 좌표계 상호간의 좌표 변환행렬이 필요하다.

[0081] 항법 좌표계에서 동체좌표계로의 방향코사인행렬(DCM)은 하기의 [수학식 15]와 같다.

수학식 15

[0082] $$R_n^b = R_x(\phi)R_y(\theta)R_z(\psi)$$

[0083] 여기서, ϕ, Θ, Ψ의 세 요소는 각각 오일러 각도의 롤(Roll), 피치(Pitch), 헤딩(Heading) 방향을 나타낸다.

[0084] 그리고 직교성(orthogonality)에 의한 동체좌표계에서 항법 좌표계로의 방향코사인행렬(DCM)은 하기의 [수학식 16]과 같다.

수학식 16

[0085]
$$R_b^n = (R_n^b)^T = R_z(-\upsilon)R_y(-\theta)R_x(-\phi)$$

$$= \begin{pmatrix} \cos\upsilon & -\sin\upsilon & 0 \\ \sin\upsilon & \cos\upsilon & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi & \cos\phi \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$= \begin{pmatrix} c\theta c\upsilon & s\phi s\theta c\upsilon - c\phi s\upsilon & s\phi s\upsilon + c\phi s\theta c\upsilon \\ c\theta s\upsilon & c\phi c\upsilon + s\phi s\theta s\upsilon & c\phi s\theta s\upsilon - s\phi c\upsilon \\ -s\theta & s\phi c\theta & c\phi c\theta \end{pmatrix}$$

[0086] 여기서, [수학식 16]에 기재된 s 및 c는 sin과 cos를 간략하게 표시한 것이다.

[0087] 다음에는 본 발명의 실시 예에 따른 시뮬레이션 결과를 살펴본다.

[0088] 시뮬레이션을 위해 사용된 장비는 Novatel사의 ProPak-G2 GPS 1set, Uigoods사의 스마트 GPS 1set, 그리고 Micro infinity사의 IMU를 사용하였다. 여기서 ProPak-G2 GPS는 스마트 GPS 보다 상대적으로 고정밀도이다.

[0089] 이의 측정결과는 도 3 및 도 4와 같다. 측정은 정지된 지점에서 정밀도를 측정한 결과의 오차를 분석하였다. 분석결과에 따르면, ProPak-G2 GPS는 9.8cm 이고 스마트 GPS는 1.5m의 오차로 나타났다.

[0090] 이와 같은 측정 결과를 바탕으로 본 실시 예가 적용하는 저가형 스마트 GPS와 IMU를 결합하여 획득한 위치정보와 이의 분석 대상인 ProPak-G2 GPS가 획득한 위치정보의 결과를 비교해 보기로 한다.

[0091] 먼저, 도 5는 본 발명에 따른 저가형 스마트 GPS와 IMU를 결합한 상태에서의 자이로 센서 Roll 가속도의 실체 출력 파형을 나타내고 있고, 도 6은 도 5의 출력 파형을 칼만필터를 적용하여 노이즈를 제거한 출력파형을 나타내고 있다. 본 실시 예와 같이 출력 파형에 포함된 노이즈는 칼만필터의 노이즈 제거과정을 통해 제거되었음을 확인할 수 있다. 그리고, 도 7은 도 6의 출력 파형을 적분과정을 수행하여 출력되는 자이로센서의 속도 파형을 나타내고 있다.

[0092] 한편, 도 8은 IMU와 GPS의 시간에 따른 위도와 경도의 오차 누적을 나타내고 있다.

[0093] 도 8을 보면, 시간이 경과 할수록 IMU의 오차 누적이 발생하고 있음을 알 수 있다.

[0094] 본 실시 예는 도 8에서와 같이 발생하는 오차 누적을 칼만 필터를 적용하여 상쇄하고 있다. 이의 도면은 도 9에 도시되어 있다. 이처럼 칼만 필터를 적용할 경우 IMU의 데이터 값에 대한 오차 누적이 많이 줄어든 것을 확인할 수 있다.

[0095] 도 10a 및 도 10b는 본 발명의 실시 예가 적용된 융합형 센서와 기존의 단독으로 사용된 GPS나 IMU 센서, 그리고 고가형 GPS의 결과 값을 서로 비교하기 위해 제시된 실험 그래프이다. 도 10b는 도 10a에 도시된 사각형 내부를 확대한 상태이다.

[0096] 도 10a 및 도 10b와 같이, 기존에 사용된 GPS나 IMU 센서보다 더욱 정밀하게 위치 정보가 획득되고 있음을 알 수 있다. 뿐만 아니라 고가형 GPS의 위치정보의 결과 값과도 거의 대등하게 획득하고 있음을 알 수 있다. 그렇기 때문에, 위치정보를 획득하기 위하여 고가형 GPS를 반드시 사용할 필요가 없다.

[0097] 그리고, 도 11a 및 도 11b는 GPS 불능 지역에서 IMU 정보만으로 위치정보를 측정하는 경우와 본 실시 예의 SVD 알고리즘을 적용하여 위치정보를 측정할 때의 오차 발생 여부를 설명하는 도면이다.

[0098] 이들 도면을 보면 도 11a은 GPS 불능지역에서 IMU 정보(점선) 만으로 측정된 결과값으로 원래 Map의 결과값(실선)과 비교하면 많은 오차가 발생하고 있음을 알 수 있다. 반면 도 11b는 GPS 불능지역에서 SVD 알고리즘을 적용한 결과(점선)로서 원래 Map의 결과값(실선)과 비교하면 거의 오차가 없음을 알 수 있다.

[0099] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명은 GPS와 IMU를 서로 융합하여 정밀한 위치 정보를 제공하고 있으며, 또한 SVD 알고리즘과 헨컬 매트릭스를 적용하면 GPS 불능지역에서도 정확한 위치정보를 수집할 수 있음을 알 수 있다.

[0100] 이상과 같이 본 발명의 도시된 실시 예를 참고하여 설명하고 있으나, 이는 예시적인 것들에 불과하며, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진자라면 본 발명의 요지 및 범위에 벗어나지 않으면서도 다양한 변형, 변경 및 균등한 타 실시 예들이 가능하다는 것을 명백하게 알 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적인 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0101] 110 : GPS 센서 120 : IMU

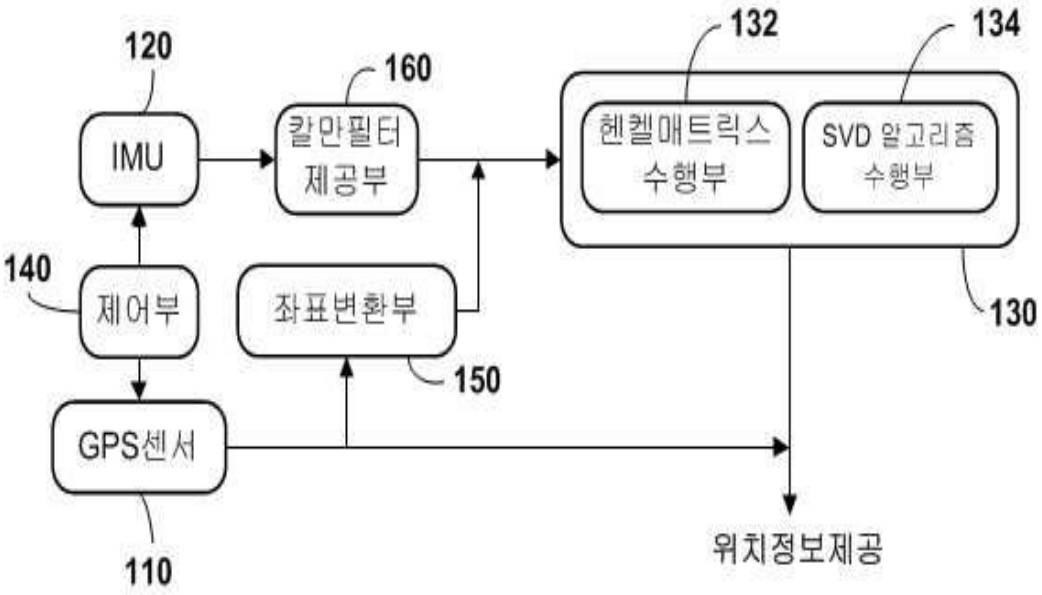
130 : 데이터 처리부 132 : 헨켈 매트릭스 수행부

134 : SVD 알고리즘 수행부 140 : 제어부

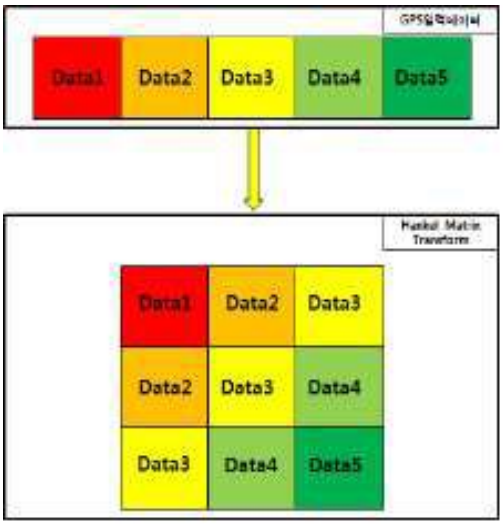
150 : 좌표변환부 160 :칼만 필터 제공부

도면

도면1



도면2



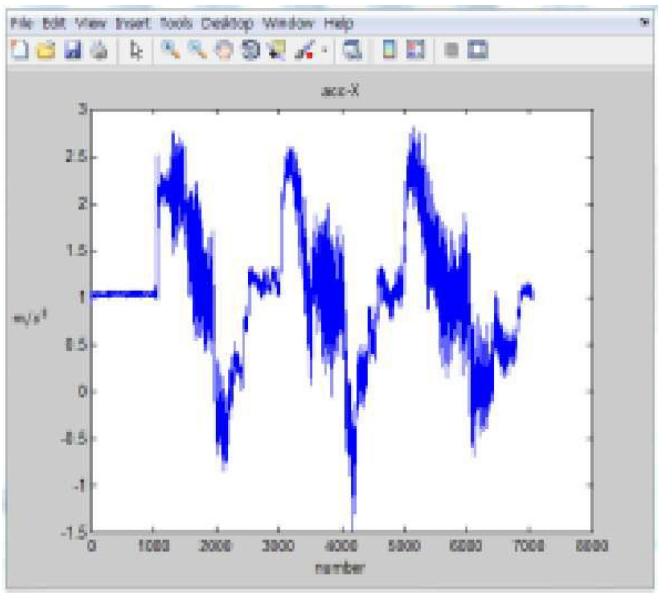
도면3

Total_ERR: 9.824816 cm

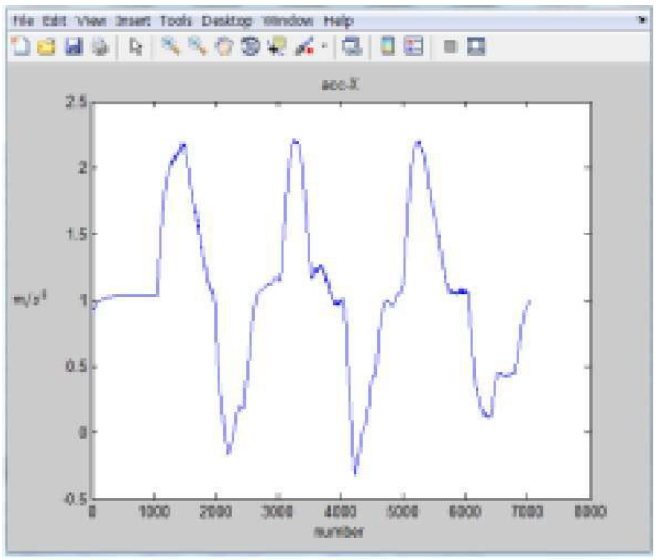
도면4

Total_ERR: 151.324271 cm

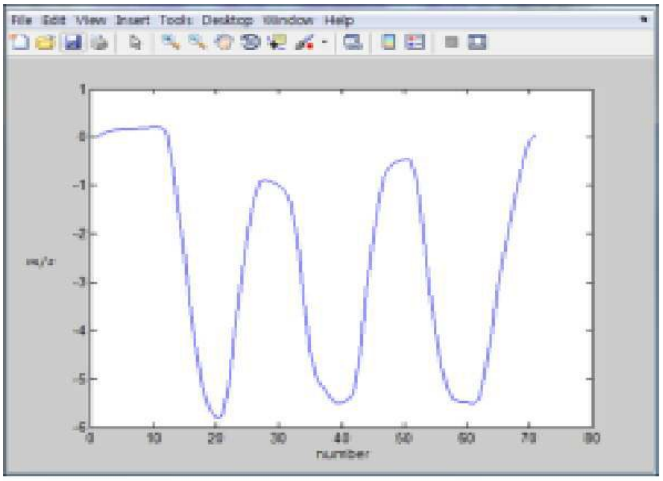
도면5


File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
acc-X
m/s²
number

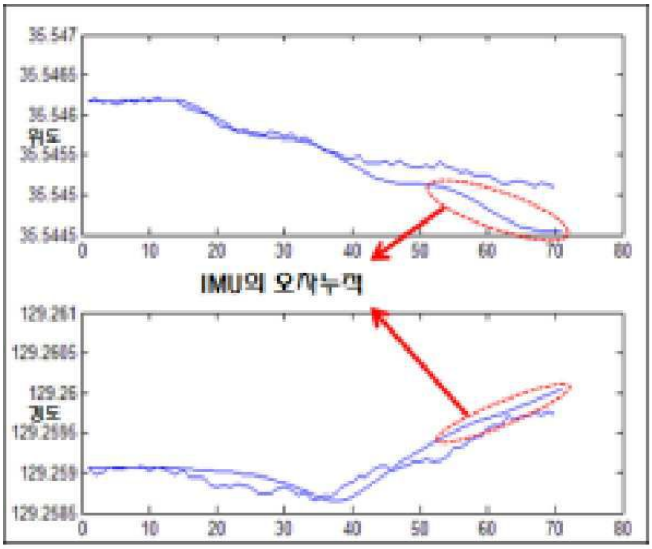
도면6



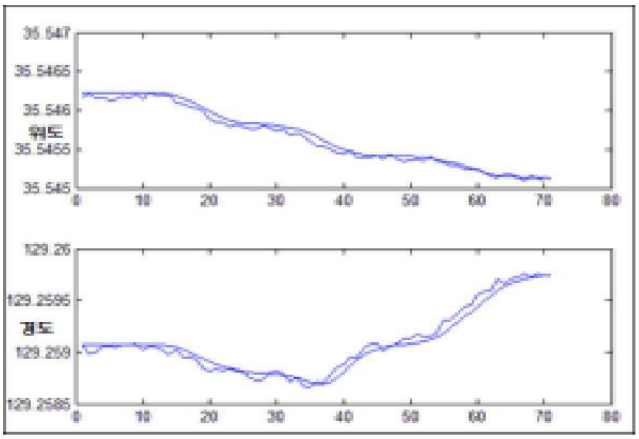
도면7



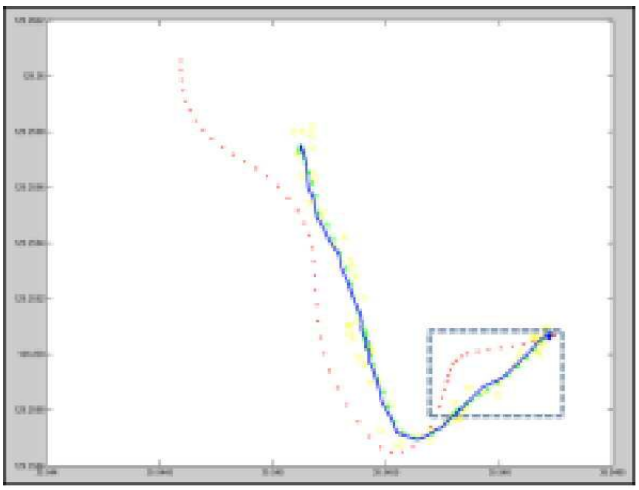
도면8



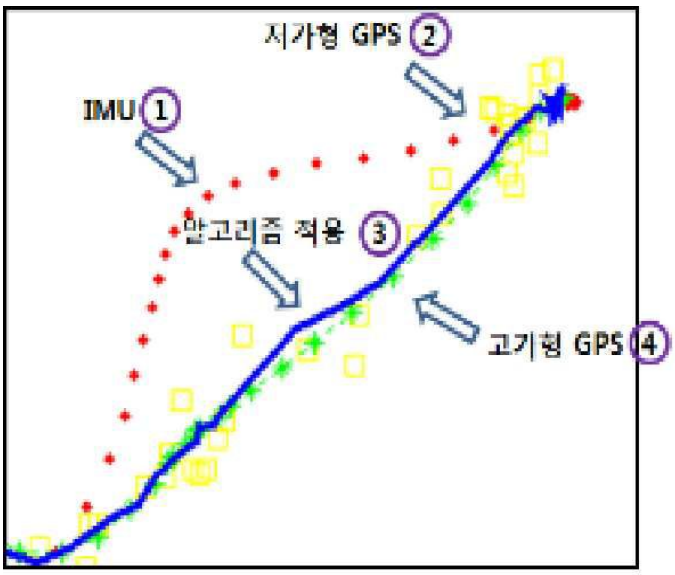
도면9



도면10a



도면10b



도면11a

도면11b