

GPS와 Dead-Reckoning을 이용한 항법시스템 설계

Design of a Navigation System Using GPS and Dead-Reckoning

김진원, 지규인, 이장규, 이영재
(Jinwon Kim, Gyu-In Jee, Jang Gyu Lee and Young Jae Lee)

Abstract : In this paper, an integrated navigation system based on GPS(Global Positioning System) and Dead-Reckoning(DR) is designed. For the calibration of DR, a self-calibration method and a GPS-based calibration method are proposed. From the field-test results, it is shown that DR can be successfully calibrated by the two proposed calibration methods. Also, a cascaded filter approach and a mixed-measurement algorithm are employed for GPS/DR integration. By using the newly proposed mixed-measurement algorithm, it is shown in simulation that the position error becomes smaller than by using only DR even if the number of visible GPS satellites is less than 4.

Keywords : GPS, DR, calibration, integration, Kalman filter, mixed-measurement algorithm

I. 서론

GPS(Global Positioning System)는 새로운 위성항법시스템으로 미국 국방성에 의해 개발되어 현재 전세계적으로 사용되고 있다. GPS가 제공하는 위치측정에는 표준위치측정 서비스(SPS: Standard Positioning Service)와 정밀위치측정 서비스(PPS: Precise Positioning Service)의 두 종류가 있는데, 이중 상대적으로 정확도가 떨어지는 C/A(Coarse Acquisition)코드를 사용하는 표준위치측정서비스는 민간용으로의 사용이 개방되어 누구라도 C/A코드 수신기만 있으면 지구상 어느 곳에서도 자신의 위치와 시간을 손쉽게 알 수 있다[1].

GPS에서는 위치를 정확히 알고있는 위성으로부터 전송되는 전파의 전달시간에 광속을 곱하여 자신과 위성사이의 거리를 측정하고, 삼각측량법에 의해 자신의 3차원 위치를 계산한다. 이때 전파의 전달시간을 정확하게 구하기 위해서 사용자와 위성은 서로 정확히 동기된 시계를 가져야 하는데, 이것이 실제적으로 불가능하므로 GPS 위성시계와 수신기 시계 사이에 시간 바이어스가 존재한다고 보고 이를 추정하여 보정한다. 결국 사용자의 3차원 좌표에 수신기 시계 바이어스를 추가한 도합 4개의 미지변수를 알기 위해서는 최소한 4개이상의 GPS 위성으로부터의 전파를 수신하여야 한다. 이를 위해 현재 지구상에는 24개의 GPS 위성이 고루 배치되어있고, 사용자는 전세계 어디서나 최소 4개 이상의 GPS 위성을 관측할 수 있다[2].

항법시스템으로서의 GPS의 편의성과 수신기 가격의 저렴성으로 인하여 최근 GPS이용한 차량항법시스템(Car navigation system)이 많이 개발되고 있다. 그러나 차량이 도심이나 산악지역을 주행할 때 지형지물에 인하여 GPS 위성으로부터의 신호가 차단되는 때가 종종 발생하게 되며, 이 경우 가시위성의 수가 4개 이하로 될 수 있기 때문에 차량의 위치를 구할 수 없게 된다. 이것이 현재 GPS를 차량항법에사용하는데 있어서 해결해야 하는 주요 문제점 중의 하나이다. 가시위성의 수가 모자라는 경우, 일반적인 GPS 위

치결정법으로는 위치를 계산할 수 없으므로, 고도 또는 수신기 시계 바이어스를 고정시켜 결정해야 할 변수의 수를 줄여서 항법해를 구하거나 또는 관성항법시스템(Inertial Navigation System: INS), 추측항법(Dead-Reckoning: DR), 고도계 등의 항법정보를 제공할 수 있는 센서를 부가적으로 사용하여 차량의 위치를 결정한다[3,4]. 지상에서 움직이는 항체를 대상으로 하는 차량항법시스템을 위해서는 GPS와 함께 INS에 비해 상대적으로 센서 가격이 저렴하고 알고리즘도 단순한 추측항법을 결합하여 사용하는 혼합항법시스템(hybrid navigation system)이 현재 많이 개발되고 있다.

본 논문에서는 GPS와 DR을 결합한 항법시스템을 설계한다. DR 항법을 위한 방위각센서로는 플럭스게이트를 속도센서로는 주행거리계(odometer)를 사용한다. DR센서를 사용하기 위해서는 센서의 보정이 필수적인데 이를 위해 센서 보정 알고리즘을 개발하였다. 차량을 회전시켜 얻은 정보를 이용하여 플럭스게이트의 자기적(magnetic)인 오차 요인을 스스로 보정하는 자기보정(self-calibration) 알고리즘, 그리고 GPS로부터 계산된 속도 및 자세각을 이용하는 GPS를 이용한 보정 알고리즘을 제안한다. GPS와 DR의 체계적인 통합을 위해서 연속적으로 연결된 칼만필터(cascaded Kalman filter)를 사용한다. 이러한 통합시스템의 구성에서, 가시위성수가 4개 미만인 경우 GPS는 더 이상 위치를 계산하지 않고 DR 단독으로 사용자의 위치를 계산한다. 하지만 이 경우에도 자기보정 및 GPS를 이용한 보정 알고리즘에 의하여 보정된 DR을 이용하여 정확한 위치를 계산할 수 있다.

일부 상용 GPS수신기는 수신기에 내장된 칼만필터를 사용하여 사용자의 위치를 계산한다. 이 경우 관측 가능한 위성 수가 4개 미만인 경우에도 계속해서 사용자의 위치를 추정할 수 있다. 그러나 가시위성의 수가 부족한 상황이 지속되면 확장칼만필터의 오차공분산이 계속 커지게 되며 결국 추정된 사용자의 위치가 발산할 위험이 있다. 이 문제를 해결하고자 본 논문에서는 2개 혹은 3개의 GPS 위성정보에 DR 측정치를 부가하여 위치를 결정하는 혼합측정치(mixed-measurement) 알고리즘을 제시한다. 이 알고리즘을 적용한 경우 확장칼만필터의 오차공분산의 전파가 제한되어 필터의 안정성이 보장되며, 부족한 수의 가시위성 정보 및 DR정보를 효과적으로 통합하여 위치오차를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

접수일자 : 1996. 2. 11., 수정완료 : 1996. 7. 1.

김진원 : 서울대학교 전기공학부 및 자동제어특화연구센터

지규인 : 건국대학교 전자공학부

이장규 : 서울대학교 전기공학부 및 자동제어특화연구센터

이영재 : 건국대학교 항공우주공학과

* 본 논문은 1993년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었습니다.

II. DR센서 보정

본 장에서는 추측항법에 대해 간단히 설명하고 플럭스게이트에 대한 자기보정 알고리즘 및 플럭스게이트와 주행거리계에 대한 GPS를 이용한 보정 알고리즘을 설명한다.

1. 추측항법(Dead-Reckoning: DR)

DR은 이미 위치를 알고 있는 한 점에서 진행방향속도 및 자세각(heading angle)을 센서 입력으로 받아 새로운 항체의 위치를 계산하는 항법시스템으로 시간 t 에서의 위치를 알고 있는 경우 시간 $t + \Delta t$ 에서의 위치는 (1)과 같이 결정된다[5].

$$\lambda = \frac{V \sin \Psi}{(R_n + h) \cos \phi}$$

$$\dot{\phi} = \frac{V \cos \Psi}{(R_n + h)} \quad (1)$$

$$\phi(t + \Delta t) = \phi(t) + \dot{\phi} \Delta t$$

$$\lambda(t + \Delta t) = \lambda(t) + \dot{\lambda} \Delta t$$

여기서

- ϕ : 위도 λ : 경도 h : 고도
- V : 시간 $[t, t + \Delta t]$ 동안의 이동체 평균속도
- Ψ : 시간 t 에서의 자세각
- R_n : 지구반경

(1)과 같이, DR은 항법계산 주기 동안 항체의 진행 궤적을 직선으로 가정하여 위치 변화를 계산하고 그 값을 이전 시간까지의 값에 누적시켜 위치를 계산하므로 시간이 경과함에 따라 위치오차가 누적된다. 따라서 대개의 경우 높은 정밀도가 요구되는 군용의 항법장치보다는 고장 및 상태변화로 인하여 추항법장치를 이용할 수 없는 경우 대체할 수 있는 보조항법장치 또는 저가, 저정밀도로 구현할 수 있는 일반 차량항법시스템으로 이용된다.

일반적으로 DR은 속도 및 자세각 센서로 구성되는데, 비판성 센서인 주행거리계(odometer)와 플럭스게이트(flux gate)가 많이 쓰인다. 주행거리계는 바퀴의 회전에 의해 생성되는 펄스 수에 차량의 타이어 원주에 의해 결정되는 상수를 곱하여 주행거리를 측정하는 장치로, 타이어 공기압 변화 또는 타이어의 마모, 차량 무게의 가감 등 실제 타이어 원주에 영향을 주는 요소들이 측정 오차로 작용하며 도로의 굴곡 상태도 측정에 영향을 미친다[6]. 한편, 플럭스게이트는 한 쌍의 직교하는 코일로 이루어지며, 두 코일에 인가되는 전압의 벡터 합으로 자기장의 방향, 즉 자북을 측정하는 장치이다. 따라서 장착 환경의 자화 상태에 따른 영향이 크게 작용한다[7,8].

2. 자기보정 알고리즘 (Self-Calibration Algorithm)

플럭스게이트의 자화원(magnetization circle)은 플럭스게이트가 천천히 한 바퀴 회전하는 경우 두 코일에 인가되는 전압을 x-y 선도로 나타낸 것으로 장착 환경이 자화되어 있지 않은 경우 중심이 기준점에 위치한 원으로 나타난다. 그러나 자화 상태가 바뀌면 자화원의 중심이 이동하며, 이것은 측정치가 센서의 방향에 따라 다른 오차 성분을 포함하는 형태로 나타난다. 만일 두 코일에 인가되는 전압을 측정할 수 있는 경우 일반적인 1회전 보정 방법을 이용하여 자화원의 중심을 보정할 수 있다. 하지만 본 연구에서 사용한 플럭스게이트는 모듈형으로 된 것이어서 코일에 인가되는 전압을 직접 측정할 수 없고 외부단자로 출력되는 자세각만을 측정할 수 있으므로, 다른 보정 방법을 필요로 한다.

그림 1은 차량의 자화 상태가 플럭스게이트에 미치는 영

향을 나타낸 것이다. 플럭스게이트의 장착 환경에 변화가 일어난 경우, 자화원의 중심은 (a)와 같이 변화된다. 또한, 플럭스게이트를 일정한 각속도로 1회전시키는 경우 출력은 (b)와 같이 오차가 포함된 형태로 나타난다. 이러한 자화를 본 논문에서는 자기적(magnetic) 바이어스로 표시한다. 그림 1에서 사각형으로 표시된 점은 바이어스된 경우와 바이어스 되어 있지 않은 경우의 출력이 만나는 점을 나타내며 (a)에서 나타난 두 원의 중심을 연결한 벡터의 방향이 된다. 따라서 자기보정 알고리즘의 구현을 위하여 만나는 두 점을 측정 또는 추정하는 방법이 필요하다.

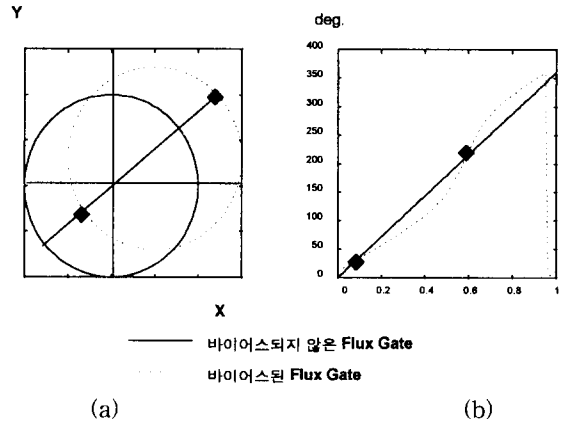


그림 1. 자기적(magnetic) 바이어스의 영향.
Fig. 1. The effects of magnetic bias.

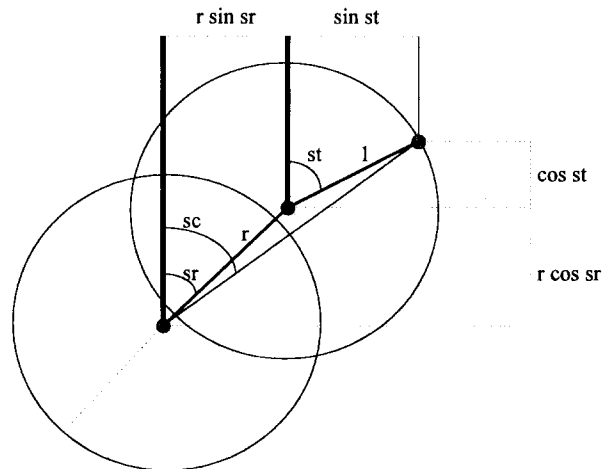


그림 2. 플럭스게이트 자화원 보정 알고리즘에 필요한 변수.
Fig. 2. The variables of the self-calibration methods.

자기보정 알고리즘의 구현을 위해서는 일반적으로 수행되는 보정 방법과 마찬가지로 차량의 360도 회전이 수행되어야 한다. 그림 2에서 자화원 중심 보정에 필요한 알고리즘을 위한 변수를 설정하였다. r 은 두 자화원간의 거리, sr 은 두 자화원간의 각도, sc 는 플럭스게이트 출력, st 는 실제 자세각을 의미한다.

자기보정 알고리즘의 순서는 다음과 같다.

- i) 느린 속도로 차량을 360도 회전시키며 플럭스게이트의 출력값을 얻는다.
- ii) 선형회귀법을 이용하여 sr 을 찾는다.
- iii) (2)를 이용하여 바이어스된 자화원과 바이어스 되지 않은 자화원 중심 사이의 거리 r 을 계산한다. 이 경우 얻은 출력값 전체에 대하여 r 을 계산한 후 평균을 취한다.

$$r \sin sr + \sin st = \tan sc (r \cos sr + \cos st)$$

$$r = \frac{\tan sc \cos st - \sin st}{\sin sr - \cos sr \tan sc} \quad (2)$$

iv) 오차를 보정한 출력값 st 를 iii) 에서 구한 r 및 (3)을 이용하여 계산한다.

$$r \cos sr \tan sc - r \sin sr = \sin st - \tan sc \cos st$$

$$= \sqrt{k^2 + 1} \sin(st - \beta)$$

$$st = \beta + \sin^{-1} \left(\frac{r \cos sr \tan sc - r \sin sr}{\sqrt{k^2 + 1}} \right) \quad (3)$$

여기서

$$k = \tan sc$$

$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{k}{\sqrt{k^2 + 1}} \right)$$

알고리즘이 실제 적용된 결과를 그림 3에 나타내었다. 레이트 테이블을 이용하여 플럭스게이트를 360도 회전시킨 후 자기보정 알고리즘을 적용하여 그 결과를 실험치로부터 얻어진 보정 테이블 결과와 비교하였다. 보정 테이블을 이용하는 경우 자기적(magnetic) 환경의 변화에 쉽게 대응하지 못하는 반면, 자기보정 알고리즘을 이용한 경우는 다양한 자기적(magnetic) 환경 하에서도 좋은 성능을 보일 수 있을 것으로 판단한다.

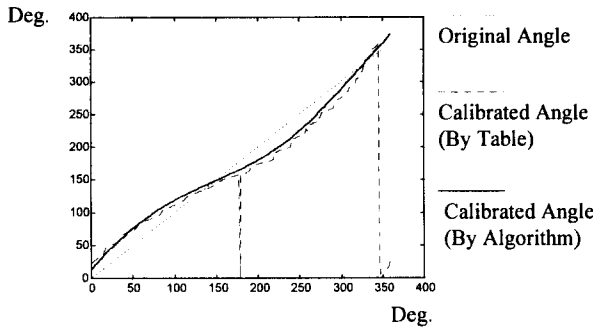


그림 3. 자기보정 알고리즘을 이용한 플럭스게이트 오차보정 실험 결과.

Fig. 3. Results of experiment using the self-calibration algorithm.

3. GPS를 이용한 보정 알고리즘

자기보정 알고리즘은 플럭스게이트 오차 중 정규오차를 보정하는 방법이라 할 수 있지만, 차량이 주행하는 도중 발생하는 불규칙한 오차 성분은 보정할 수 없다. 따라서, 불규칙 오차를 보정하기 위하여 GPS 정보를 이용한 칼만필터를 구성한다.

자세각 보정 칼만필터는 자세오차를 (4)와 같은 1차 마코프 프로세스로 가정하고 자기보정 알고리즘을 적용한 플럭스게이트의 자세각과 연속적인 두 GPS 위치정보로부터 구한 GPS 자세각 사이의 차를 필터의 측정치로 하여 자세오차를 추정한다. 실험에서 상관시간은 500초로, 측정잡음은 5deg/s 으로 설정하였다.

$$\delta \Psi = -\frac{1}{\tau_\Psi} \delta \Psi + \omega_\Psi \quad (4)$$

$\delta \Psi$, τ_Ψ , ω_Ψ : 자세오차, 상관시간, 백색잡음

도로 주행시험을 통한 자세보정 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 (a)는 자세각 보정 칼만필터를 이용한 경우의 보정 결과를 (b)는 자기보정 알고리즘만을 이용한 경우의 보정 결과를 나타낸다.

위와 같이 칼만 필터를 통하여 계산된 추정치를 플럭스게

이트 자세각에서 감하여 항체의 자세를 보정하고 이것을 DR 항법 알고리즘에 적용한다. 이 경우 GPS 정보를 수신할 수 없는 경우는 그전까지 추정된 오차를 계속 이용하여 플럭스게이트 출력을 보정한다.

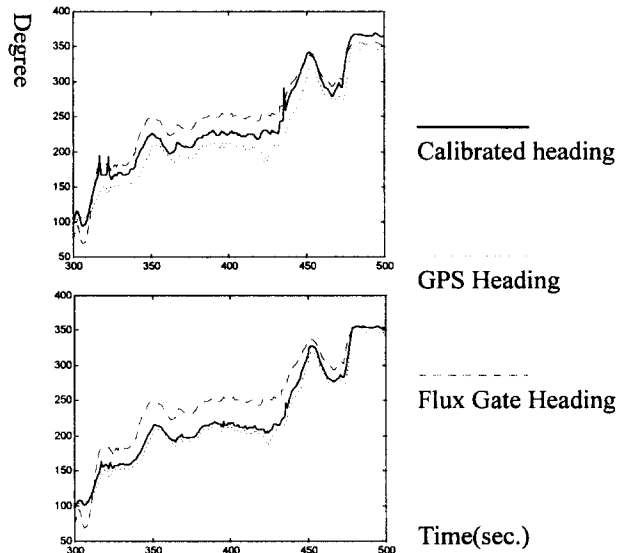


그림 4. 도로 주행 시험 결과.

Fig. 4. An experimental results of field-test.

주행거리계의 환산 계수는 장착 차량이 바뀌는 경우 달라지고 같은 차량에서도 타이어 공기압이 바뀌는 경우 달라진다. 주로 타이어의 지름과 공기압 변화에 따라 환산 계수가 결정되므로 필터를 이용한 환산계수의 추정이 불가피하다. GPS로부터 연속적으로 정보를 수신할 수 있는 경우 연속적인 위치측정값 사이의 차이로 속도를 계산하거나 독립적으로 속도 정보를 얻을 수 있으므로 주행거리계로부터 계산된 속도와 GPS로부터 얻어지는 속도의 차이를 측정치로 하여 환산계수를 추정할 수 있다. 실험에서 상관시간은 1000초로, 속도오차의 측정잡음은 1m/s 으로 설정하였다.

$$\delta K_o = -\frac{1}{\tau_K} \delta K_o + \omega_K \quad (5)$$

δK_o , τ_K , ω_K : 주행거리계 환산계수오차, 상관시간, 백색잡음

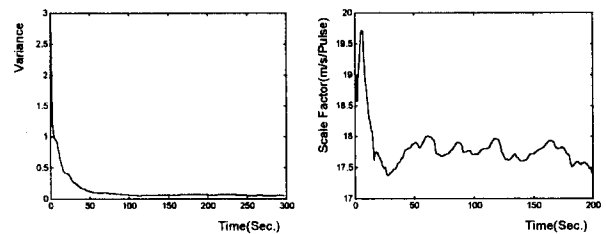


그림 5. 주행시험을 통한 주행거리계 환산계수 오차보정.

Fig. 5. Error calibration of odometer scale factor.

도로 주행 시험시 주행거리계 보정 필터를 이용하여 구한 환산계수의 추정치와 분산을 그림 5에 나타내었다. 환산계수의 초기치는 실제 값보다 크게 임의로 설정하여 주행 차량이 변경된 상태에서 주행하는 경우와 일치하도록 하였다. 실제 주행시험 결과 약 20초 가량 주행한 후 환산계수가 수렴해 가는 것을 볼 수 있으며 분산의 경우도 마찬가지로 경향을 나타낸다. 따라서 주행 차량의 교체 및 타이어 상태 변화 등 주행 환경의 변화에 적용할 수 있을 것으로 생각하며

GPS 정보를 얻을 수 없는 경우에 그전 시간까지 추정된 환산계수를 이용하여 보다 정확한 속도를 계산할 수 있을 것으로 판단된다.

이상과 같이 설계된 DR센서 오차보정 알고리즘의 구성도를 그림 6과 같이 표현할 수 있다.

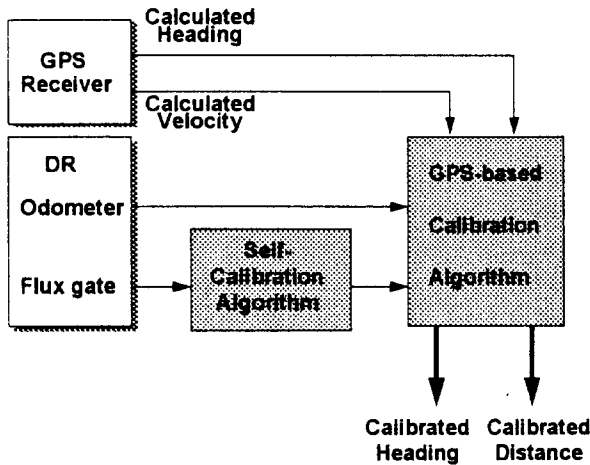


그림 6. DR 오차 보정 알고리즘의 구성도.
Fig. 6. The diagram of DR error calibration.

III. GPS/DR 통합 시스템 구성

각자 독립된 항법시스템으로 이용되는 GPS와 DR의 특성에는 다음과 같은 장단점이 있다. GPS의 경우 위성의 정보를 받아 매시간 위치계산을 수행하므로 누적되는 오차가 발생하지 않는 장점이 있는 반면, 위성 신호의 수신 상태에 따라 이용하지 못하는 경우가 생기는 단점이 있다. 예를 들면 숲속이나 고층 빌딩 사이를 통과하는 경우 관측되는 위성의 수가 4개 이하로 감소하여 차량의 위치를 계산하지 못한다. 또한 S/A 및 DOP의 변화에 의하여 계산되는 차량의 주행궤적이 불연속적으로 변화한다. DR의 경우 오차가 포함된 이전 시간의 값을 초기값으로 이용하므로 위치 오차가 누적되는 단점이 있지만, 자기적(magnetic) 환경을 제외한 외부 환경의 영향을 거의 받지 않으며, GPS에 비하여 위치의 출력이 연속적으로 변화하는 경향을 보일 수 있다. 따라서 GPS와 DR 혹은 관성항법시스템(INS)과 같은 서로 다른 특성을 가진 두 종류의 시스템을 상호보완적으로 결합하여 통합항법시스템을 구성하는 연구가 최근 활발히 진행되고 있다 [3,4,7].

본 장에서는 GPS/DR 통합 시스템 구성을 위하여 cascaded filter approach와 새로 제안한 혼합추정치 알고리즘을 채택하였고, 주행시험 및 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 평가하였다.

1. 연속배치 필터 (Cascaded Filter)

널리 쓰이는 GPS/INS 통합 방법 중 cascaded filter approach는 구조가 간단하고, 모듈화가 가능하며, 고장 검출에 용이하다고 알려져 있다[3,9]. 본 절에서는 최소자승법 또는 확장칼만필터에 의하여 계산된 GPS 위치 정보를 이용하여 DR의 위치를 보정하는 cascaded filter를 구현한다. Cascaded filter는 일반적으로 준 최적의 추정치를 제공하나, 이미 시스템에 내장되어 구현되어 있는 GPS 및 DR 필터를 분리하여 이용할 수 있다는 장점이 있다.

필터의 구조는 그림 7과 같다. 3개의 회색 사각형은 각각 분산된 필터를 의미한다. 이러한 구조하에서, 한 필터가 오 동작하는 경우 그 필터와 전체 시스템의 연결이 끊어지면서 전체 시스템은 계속 안정적으로 동작하게 된다. 예를 들면, 관측 가능한 GPS 위성 수가 4개미만으로 위치 계산이 불

가능한 경우, GPS로부터의 측정치 없이 DR은 자기보정 알고리즘만으로 차량의 위치를 계산하고 보정할 수 있다. 그러나, 이 경우 GPS를 이용한 보정 알고리즘의 이용은 불가능하게 되며, 상대적으로 전체 시스템의 성능은 저하된다.

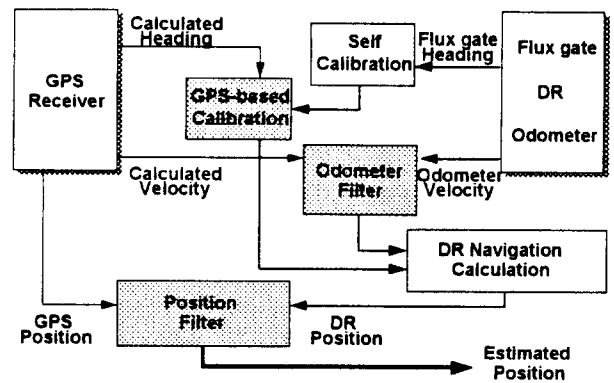
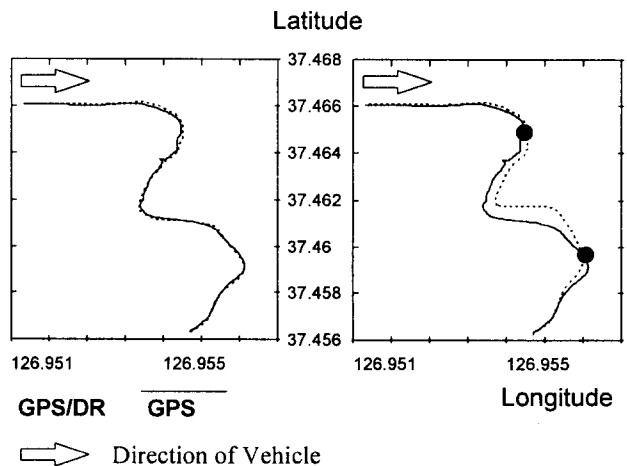


그림 7. cascaded filter 구조.
Fig. 7. A cascaded filter structure.

그림 8은 cascaded filter가 관측 가능한 위성 수가 4개 미만인 경우에도 동작함을 보여 준다. 그림 8에서, 점선은 GPS/DR cascaded filter를 이용한 경우에 계산된 차량의 위치를 궤적으로 나타낸 것이다. 그림 8의 (a)에서 GPS/DR cascaded filter의 결과가 올바른 궤적을 따르며 잡음이 섞여 불규칙한 GPS에 의하여 계산된 궤적에 비해 부드러운 궤적을 생성함을 알 수 있다. (b)에서는 GPS 신호 수신에 불가능한 경우, GPS를 이용한 보정 알고리즘은 수행될 수 없으나 자기보정 알고리즘에 의하여 어느 정도 보정된 센서에 의한 DR 위치추정 결과를 보여준다. 이때 굵은 두 점 사이 구간에서의 실선은 단순히 비교를 위하여 GPS에 의한 궤적을 표시한 것이다.



Interval between two ● Marks : GPS is not available
(왼쪽) GPS가 계속 수신된 경우의 주행 결과.
(오른쪽) 두 점 사이 구간에서 GPS가 수신되지 않은 경우의 주행결과.
그림 8. 도로 주행 시험 결과.

Fig. 8. Trajectories of field-test results.

2. 혼합추정치 알고리즘

관측 가능한 GPS 위성이 4개 미만인 경우, 일반적인 GPS 위치 계산 알고리즘으로는 사용자의 위치를 결정할 수 없다. 따라서, 지금까지 이러한 경우에 대한 위치 결정 방법이 연구되어 왔는데[9], 확장칼만필터는 이러한 경우에 이용할 수 있는 방법 중의 하나로, 관측 가능한 GPS 위성

수가 4개 미만인 경우에도 사용자 위치를 추정하기 위한 필터 이득을 계산할 수 있다. 하지만 이러한 경우 시스템의 가관측성이 보장되지 않으므로 시간 전파에만 의존하게 되어 오차 공분산이 급속히 증가하게 된다. 따라서 앞절에 제시된 cascaded filter와 같이 이러한 경우에는 GPS를 이용하지 않고 그 동안 보정된 DR을 이용하여 차량의 위치를 추정하는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위하여, 이동하는 차량의 위치추정을 위해 확장칼만필터(EKF)를 사용하는 경우 시스템의 가관측성을 계속적으로 유지시켜 안정된 출력을 얻을 수 있는 혼합추정치 알고리즘을 새롭게 제안한다. 이 방법은 관측 가능한 위성 수가 2개 혹은 3개인 경우 DR의 자세각 및 속도 정보를 이용하여 확장칼만필터의 추정 방정식을 가관측성이 보장되는 형태로 만족시키는 것으로 기존의 확장칼만필터의 식을 그대로 이용할 수 있으며, 관측되는 2개 혹은 3개의 위성 정보를 이용하여 DR로 인해 누적되는 위치오차를 감소시킬 수 있다는 장점이 있다.

관측 가능한 위성 수를 n 으로 놓을 경우, GPS 확장칼만필터의 추정 방정식은 (6)과 같으며, GPS의 오차 모델로는 일반적인 위치/속도 모델을 이용하였다[10]. (6)에서 ρ 는 현재 위치에서의 의사거리를 나타내며, $\hat{\rho}(x_0)$ 는 이전 위치로부터 계산된 의사거리를 나타낸다. 모든 상태변수는 지구 중심을 원점으로 하는 지구고정좌표계(ECEF)에서 정의된다.

$$Z = \rho - \hat{\rho}(x_0) = Hx + v \quad (6)$$

여기서

$$x = [\delta X \ \delta V_X \ \delta Y \ \delta V_Y \ \delta Z \ \delta V_Z \ \delta t_r \ \delta t_v]^T$$

$$\rho = [\rho_1 \ \rho_2 \ \dots \ \rho_n]^T$$

$$H = [h_1^T \ h_2^T \ \dots \ h_n^T]^T$$

$$h_i = [h_{ix} \ 0 \ h_{iy} \ 0 \ h_{iz} \ 0 \ 1 \ 0]$$

$$h_{ix} = \frac{u_x - x_i}{\rho_i}, h_{iy} = \frac{u_y - y_i}{\rho_i}, h_{iz} = \frac{u_z - z_i}{\rho_i}$$

$\delta X, \delta Y, \delta Z$: 위치 변화량

$\delta V_X, \delta V_Y, \delta V_Z$: 속도 변화량

$\delta t_r, \delta t_v$: 수신기 시계 바이어스 및 편류

u_x, u_y, u_z : 선형화의 기준이 되는 사용자의 위치

x_i, y_i, z_i : 위성 i 의 좌표

v : 측정잡음 벡터

ρ_i : 위성 i 와 현재 위치 사이의 의사거리

관측 가능한 위성 수가 2개로 줄어드는 경우 H 행렬의 행 수는 2가 되며, 시스템의 완전 가관측성은 보장되지 않는다. 확장칼만필터의 상태변수 중 $\delta X, \delta Y, \delta Z$ 는 이전 시간까지 계산된 위치를 기준으로 한 위치 변화를 의미하므로 DR을 이용하여 (7)과 같이 부가적인 측정 방정식을 얻을 수 있다. (7)에서 V_{DR} 은 속도센서로 측정되는 Δt 동안의 항체의 속도를 $\delta N, \delta E, \delta U$ 는 항법좌표계에서의 이동체의 위치변화량을 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} V_{DR}\Delta t \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta N \cos \Psi + \delta E \sin \Psi \\ \delta N \sin \Psi - \delta E \cos \Psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} 0 & \sin \Psi & \cos \Psi \\ 0 & -\cos \Psi & \sin \Psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta U \\ \delta E \\ \delta N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (7) \\ = \begin{bmatrix} 0 & \sin \Psi & \cos \Psi \\ 0 & -\cos \Psi & \sin \Psi \end{bmatrix} C_e^n \begin{bmatrix} \delta X \\ \delta Y \\ \delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

$$C_e^n = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \lambda & \sin \lambda & 0 \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ϕ : 이동체의 위도

λ : 이동체의 경도

Ψ : 이동체의 자세각

본 논문에서 구성된 GPS/DR시스템의 계산 주기는 1초이며, 따라서 (7)에서 Δt 를 1초로 설정하는 경우 측정치가 평균속도의 개념을 갖게 되어 측정잡음의 가중치 행렬 R을 (8)과 같이 근사시킬 수 있다[11].

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = N(0, R), R \sim \begin{bmatrix} \sigma_v^2 & 0 \\ 0 & V_{DR}^2 \sigma_\psi^2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

이와 같이 (7)으로 표시되는 DR로부터 얻어진 측정치를 기존의 확장칼만필터 추정방정식 (6)에 부가하여 GPS의 의사 거리에 의한 측정치와 혼합된 혼합추정치 벡터를 구성할 수 있음을 알 수 있다.

C.E.P(m)

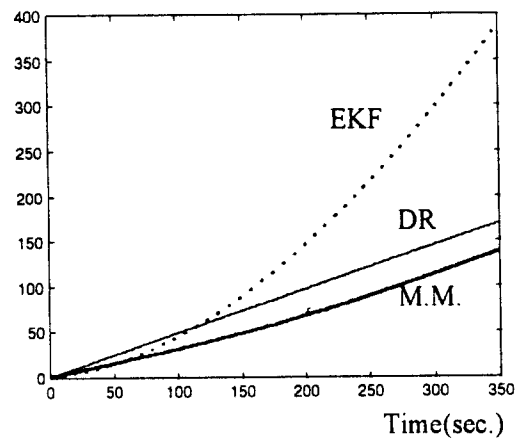


그림 9. 몬테칼로 시뮬레이션을 통한 혼합추정치 알고리즘의 성능 평가.

Fig. 9. Performance of the mixed-measurement algorithm using Monte-Carlo simulation.

혼합추정치 알고리즘의 성능 평가를 위하여 위치 결정 방법으로 기존의 확장칼만필터, DR 및 혼합추정치 알고리즘의 3가지 방법을 각각 이용한 36회의 몬테칼로 시뮬레이션을 수행하였으며, 항법오차의 단위로 수평측 위치 오차(Circular Error Probability)를 이용하였다[5]. 위성의 궤도를 생성하기 위하여 범용 위성운동 시뮬레이터(ASAP: Artificial Satellites Analysis Program)를 바탕으로 한 GPS 시뮬레이터를 이용하였다[12]. 주행 환경으로는 10m/s의 일정한 속도로 북쪽에 대해 45도 방향으로 진행하는 350초 동안의 등속 직선 운동을 이용하였으며 관측 가능한 위성 수를 2개로 놓았다. GPS의 오차 사양으로는 일반적인 DGPS의 오차 사양을 가정하였다[12]. 또한 GPS를 이용한 보정이 가능하지 않으므로 DR의 오차 사양으로는 주행거리계 환산 계수의 경우 기준값의 5%에 해당하는 랜덤상수로, 측정잡음은 1m/s의 표준편차를 갖는 백색잡음으로 가정하였다. 플럭스게이트는 직선운동의 경우 심한 자기적 변화가 없을 때 자세오차가 누적되지 않으므로 자세오차는 3도의 랜덤상수 및 1도의 표준편차를 갖는 백색잡음으로 모델링 하였다. 이러한 사양 하에서 DR만을 이용하는 경우 위치오차가 계속 증가하게 된다. 그림 9에서 혼합추정치 알고리즘을 이용하면 GPS 또는 DR만을 이용하는 경우에 비해 위치오차의 증가를 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

IV. 결론

본 논문에서 GPS와 DR을 이용한 차량항법시스템을 설계하였다. DR의 보정 방법으로 자기보정 알고리즘 및 GPS를 이용한 보정 알고리즘의 2가지 방안이 제시되었으며, 레이저 테이블 실험 및 도로에서의 주행시험을 통하여 보정알고리즘의 성능을 시험하였다. GPS와 DR을 통합하기 위하여 cascaded filter approach와 새로운 혼합 측정치 알고리즘을 제안하였다. 두 방법의 알고리즘이 제시되었고, 시뮬레이션 및 주행 시험을 통하여 각각의 특성이 고찰되었다. 이 결과를 토대로 위성이 4개 미만인 경우에도 혼합 측정치 알고리즘을 이용하여 DR의 특성으로 인한 위치오차의 증가가 제한됨을 보였다.

본 논문에서 제시한 GPS/DR 통합알고리즘을 바탕으로 실제 차량항법시스템에 사용될 항법시스템모듈이 제작 중에 있으며 지속적인 통합알고리즘의 연구가 진행 중이다.

참고문헌

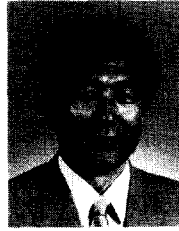
[1] D. Wells, *Guide to GPS Positioning*, Canadian GPS Associates, 1986.
 [2] *Global Positioning System, Vol. I,II,III,IV*, The Institution of Navigation. 1980-1993.
 [3] D. Cox, "Integration of GPS with inertial navigation systems", *Navigation, Journal of the institute of Navigation*, 1978.
 [4] T. Upadhyay, et al., "Autonomous GPS/INS navigation experiment for space transfer vehicle", *IEEE tr. Aerospace & Electronic Systems*, vol. 29, no. 3,

July, 1993.
 [5] G. Siouris, *Aerospace Avionics Systems - A Modern Synthesis*, Academic Press, 1993.
 [6] T. Lezniak, R. Lewis, and R. Mcmillen, "A Dead Reckoning/Map correlation system for automatic vehicle tracking", *IEEE tr. Vehicular Technology*, vol. vt-26, no. 1, February 1977.
 [7] W. Kao, "Integration of GPS and Dead Reckoning Navigation Systems", *Proc. of VNIS*, 1991.
 [8] T. Peters, "Automobile navigation using a magnetic Flux-Gate compass", *IEEE tr. Vehicular Technology*, vol. vt-35, no. 2, May, 1986.
 [9] Ilsun Kim, Chansik Park, Gyu-In Jee, Jang-Gyu Lee and Choon Shik Kim, "GPS positioning using quasi-pseudorange", *ASCC conf.*, July, 1994.
 [10] R. Brown, P. Hwang, *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*, John Wiley & Sons, 1992.
 [11] 성태경, 시선좌표계에서의 분리추적필터 및 기동표적을 위한 적응추적필터에 대한 연구, 공학박사학위논문, 서울대학교, 1992.
 [12] 이장규, 지규인, 이영재 외, GPS와 통신망을 이용한 이동체 종합 관제시스템 개발 연구, 연구보고서, 한국통신연구개발원, 1994.



김진원

1969년 5월 17일생. 1992년 서울대 공대 제어계측공학과 졸업. 1994년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 제어계측공학과 박사과정 수료. 1996년 3월 ~ 현재 서울대학교 자동제어특화연구센터 보조연구원.



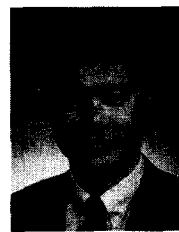
이장규

1946년 3월 28일생. 1971년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 Univ. of Pittsburgh 전기공학과 졸업(석사). 1977년 Univ. of Pittsburgh 전기공학과 졸업(공학). 1977년 4월 ~ 1981년 6월 The Analytic Sciences Corporation 연구원 (Technical Staff). 1981년 6월~1982년 7월 Charles Stark Draper Laboratory 연구원(Technical Staff). 1982년 9월 ~ 현재 서울대 공대 제어계측공학과 교수. 1994년 12월 ~ 현재 서울대 자동제어특화연구센터 소장.



지규인

1959년 11월 24일생. 1982년 서울대 공대 제어계측공학과 학사. 1984년 서울대 대학원 제어계측공학과 석사. 1989년 Case Western Reserve University 시스템공학과 박사. 1990년 Rensselaer Polytechnic Institute 연구원. 1990년 9월 ~ 1992년 2월 강원대학교 제어계측공학과 전임강사. 1992년 3월 ~ 현재 건국대학교 전자공학과 부교수.



이영재

1958년 8월 31일생. 1982년 서울대 공대 항공우주공학과 학사. 1985년 서울대 대학원 항공우주공학과 석사. 1990년 University of Texas, Austin 항공우주공학과 박사. 1990년 ~ 1992년 University of Texas, Austin 항공우주공학과 연구원. 1992년 3월 ~ 현재 건국대학교 항공우주공학과 부교수.

공학과 전임강사. 1992년 3월 ~ 현재 건국대학교 전자공학과 부교수.