

3축 자기장 센서 및 관성센서를 이용한 차량 방위각 추정 방법

황 윤 진 · 최 세 범*

한국과학기술원 기계공학과

Vehicle Orientation Estimation by Using Magnetometer and Inertial Sensors

Yoonjin Hwang · Seibum Choi*

Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 34141, Korea
 (Received 8 December 2015 / Revised 2 February 2016 / Accepted 7 March 2016)

Abstract : The vehicle attitude and sideslip is critical information to control the vehicle to prevent from unintended motion. Many of estimation strategy use bicycle model or IMU integration, but both of them have limits on application. The main purpose of this paper is development of vehicle orientation estimator which is robust to various vehicle state and road shape. The suggested estimator use 3-axis magnetometer, yaw rate sensor and lateral acceleration sensor to estimate three Euler angles of vehicle. The estimator is composed of two individual observers: First, comparing the known magnetic field and gravity with measured value, the TRIAD algorithm calculates optimal rotational matrix when vehicle is in static or quasi-static condition. Next, merging 3-axis magnetometer with inertial sensors, the extended Kalman filter is used to estimate vehicle orientation under dynamic condition. A validation through simulation tools, Carsim and Simulink, is performed and the results show the feasibility of the suggested estimation method.

Key words : Vehicle dynamics(차량동역학), Euler angle estimation(오일러 각 추정), Sideslip estimation(슬립 각 추정), Sensor fusion(센서 퓨전), Attitude estimation(자세 추정)

Nomenclature

H : geomagnetic vector
 B : measured magnet field
 r : yaw rate, rad/s
 a : acceleration, g
 R : rotation matrix
 θ : pitch angle, rad
 ϕ : roll angle, rad
 ψ : yaw angle, rad
 I : moment of inertia, kg·m²
 k : spring constant, Nm/rad
 b : damping ratio, Nm/rad/s
 m_s : sprung mass, kg
 h_s : height of center of mass, m

Subscripts

m : body fixed frame
 p : z-rotated frame
 R : reference frame
 s : sensor output
 v : vehicle angle
 r : road angle
 h : heading angle
 C, S : cosine, sine
 $\hat{}$: estimated value

1. 서 론

지난 세기 주로 성능의 향상에 주안했던 자동차 기술은 최근 연비로 대표되는 친환경성과 전자제어

*Corresponding author, E-mail: sbchoi@kaist.ac.kr

를 통한 탑승자, 보행자 안전으로 그 초점이 이동하고 있다. 이 중, 주행안정성 및 조종성 향상을 위한 차량 자세 제어장치(ESC, Electronic Stability Control)는 각국에 출시되는 신차에 대하여 의무화 될 정도로 긴급 상황에서의 성능을 인정받고 있다.

차량 자세 제어에는 현재 차량의 움직임이 불안정한지를 판별하는 추정 알고리즘이 포함되는데, 주로 차량의 불안정성은 차량의 종방향 속도와 횡방향 속도가 이루는 각도에 크게 영향을 받는다. 이를 slip 각도라 부르며, 이 slip 각도의 직접적인 측정은 비용 및 내구의 문제를 내포하고 있어 주로 여러 센서 측정값을 통한 추정값을 사용하게 된다.

Slip 각도를 추정하는데 있어 가장 널리 알려진 방법은 차량의 bicycle 모델을 이용한 추정이다. 오지원¹⁾은 bicycle 모델을 기반으로 IMU(Inertial Measurement Unit)의 유사 적분을 통한 각도 추정법을 제안하였다. 그러나 bicycle 모델의 경우 slip 각도와 타이어 힘 사이의 관계를 선형화하여 표현하게 되는데, 이는 작은 slip 각도에 한정하여 유효한 가정으로 전 영역의 slip 각도를 추정하기 위해선 적응 기법과 같은 추가적인 요소가 필요하다.

김현호와 류제하²⁾는 IMU를 활용하여 짧은 시간 내의 slip 각도 변화를 차량의 kinematic 모델을 통하여 적분하는 방법을 제안하였다. Kinematic 모델의 적분을 통한 slip 각 추정에는 차량의 방위각에 의한 보정이 필요하며, 장기간 적분이 수행되는 경우 오차가 누적된다는 한계점을 갖는다.

각 방법의 단점을 보완하고자 지금까지 다양한 연구가 이루어졌다. Psiaki 등³⁾이 제안한 Kalman 필터를 통한 자기장 센서와 IMU의 결합에 의한 오일러 각 추정을 기반으로 kinematic 모델과 bicycle 모델을 통합한 slip 추정 방법을 윤종화와 Peng⁴⁾이 제안하였고, 기존의 방법보다 진보된 성능을 보였다. 그러나 차량의 피치 운동이 무시되어 경사와 뱅크가 존재하는 실제 주행 조건에 바로 적용하는데 한계가 존재한다.

이러한 한계를 극복하고, 다양한 조건에서 차량 방위각의 추정을 통하여 kinematic 모델을 통하여 얻는 slip 각도의 정확성을 향상시키기 위한 선행 연구로, 본 연구는 차량 자세 제어장치의 기본적 구성

인 횡 가속도, 요 레이트, 휠 속도 센서와 3축 자기장 센서를 통한 차량의 방위각 추정 방법을 제안한다. 2장에서는 노면 경사 및 차량의 롤 피치 운동이 발생할 때 각각의 측정이 차량 동체 운동에 대하여 어떻게 반응하는지를 다루며, 이후 3장은 동역학 모델 및 추정 모델을 사용한 확장 칼만 필터를 통하여 차량 방위각을 추정하는 방법을 소개한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안된 추정 기법의 성능을 확인하며, 마지막으로 5장에 결론 및 향후 발전 계획을 서술하였다.

2. 시스템 모델링

차량에 고정된 자기장 센서는 차체 및 전장에 의한 soft-iron 및 hard-iron 효과에 의하여 왜곡된 자기장을 측정하게 된다. 이러한 왜곡 효과는 Crassidis 등⁵⁾의 연구에서 제안된 방법을 사용하여 제거될 수 있다. 이 장에서는 외란이 제거된 자기장 측정값과 각속도의 관계와 차량의 가속도 정보를 이용해 측정되지 않는 각속도 성분을 차량 모델을 통하여 대체하는 방법을 제시한다.

2.1 3축 자기장센서

지구 자기장은 위치에 따라 0.3mG ~ 0.7mG의 값을 가지며, 그 방향은 대략적으로 지구의 자기 북극을 향한다. 자기 북극은 지리상의 북극에 대하여 약 11° 기울어져 있어, 측정하는 위치에 따라 지리적 북극에 대하여 동쪽, 혹은 서쪽으로 편향되게 된다. 이러한 현상을 극복하고 자기장 센서를 방위 측정으로 사용하고자 하는 노력이 이루어져왔고, 그 결과 지표상의 경도 위도, 고도에 따른 지자기장은 World Magnetic Model로 모델링되어 있다.

차량에 부착된 3축 자기장 센서의 측정값은 차량의 롤, 피치, 요 각도에 의하여 Fig. 1과 같은 Tait-Brain 회전 변환을 거쳐 차량 동체 좌표계에서 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\vec{B}_m = \begin{bmatrix} C\theta C\psi & C\theta S\psi & -S\theta \\ -C\phi S\psi + S\phi S\theta C\psi & C\phi C\psi + S\phi S\theta S\psi & S\phi C\theta \\ S\phi S\psi + C\phi S\theta C\psi & -S\phi C\psi + C\phi S\theta S\psi & C\phi C\theta \end{bmatrix} \vec{H} \quad (1)$$

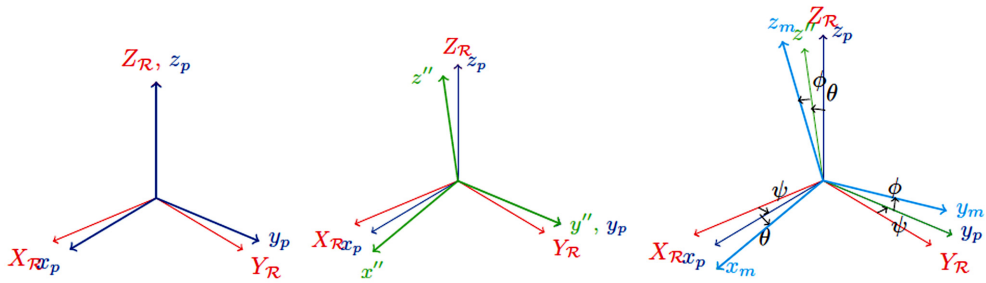


Fig. 1 Successive ZYX rotation with ϕ, Θ, ψ

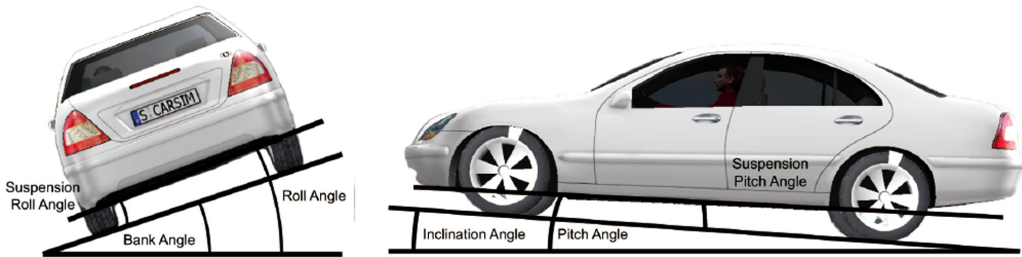


Fig. 2 Vehicle roll and pitch angle description

또한, 차량 동체 좌표계의 오일러 각도 (ϕ, Θ, ψ) 는 차량의 롤, 피치 및 요 각도 뿐 아니라 노면의 경사각 역시 포함되어 있으며, Fig. 2 및 식 (2)와 같이 롤 및 피치는 차량의 각도와 노면 경사각의 합으로 나타난다.

$$\begin{aligned} \phi &= \phi_v + \phi_r \\ \theta &= \theta_v + \theta_r \\ \psi &= \beta + \psi_h \end{aligned} \quad (2)$$

2.2 관성 센서

가속도 및 각속도 센서에서 측정된 횡 가속도 및 요 레이트에는 노면의 경사 및 차의 롤, 피치에 의하여 평면상의 횡방향 및 수직방향이 아닌 다른 방향의 물리량이 포함되게 된다. Fig. 1과 같이 Tait-Brian 각도로 표현된 차량 방위각을 얻기 위해선 차량 동체 좌표계에서 측정된 물리량들을 기준 좌표계에서의 측정값으로 변환할 필요가 있다.

이 때, 지표면에 고정된 R-좌표계를 사용하는 경우 차량 횡운동에 관련되지 않은 ψ 를 포함하는 항이 나타나게 된다. ψ 의 영향을 소거하기 위하여 ZYX Tait-Brian 회전변환 중 Z축에 대하여 1회의 회전이 이루어진 좌표계를 P-좌표계라고 정의한다. P-좌표

계에서 측정된 요 레이트 r_s^m 은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \rightarrow r_s^m &= \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\phi\sin\theta & \cos\phi\sin\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ -\sin\theta & \sin\phi\cos\theta & \cos\phi\cos\theta \end{bmatrix} r_s^m \\ &= \begin{bmatrix} \cos\phi\sin\theta \\ -\sin\phi \\ \cos\phi\cos\theta \end{bmatrix} r_s^m \end{aligned} \quad (3)$$

횡 가속도의 경우 다음과 같이 롤 각 ϕ , 피치 각 θ 에 의하여 중력가속도를 보상할 수 있다.

$$a_y^m = a_{ys}^m - g \sin\phi\sin\theta \quad (4)$$

2.3 차량 롤 및 피치 운동 모델

일반적인 차량 자세 제어장치는 횡방향 가속도 센서 및 요 레이트 센서만을 추가적인 측정장비로 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 자세 추정에 필요한 롤 및 피치 레이트 p, q 에 대한 정보를 위한 방안으로 단순화된 차량의 롤 및 피치 운동의 모델을 사용한다.

차량의 현가질량이 롤 운동의 순간 회전 중심에 대하여 k_r, b_r 의 복원력과 감쇠력을 가지고 회전하는 모델은 다음과 같이 표현할 수 있다.

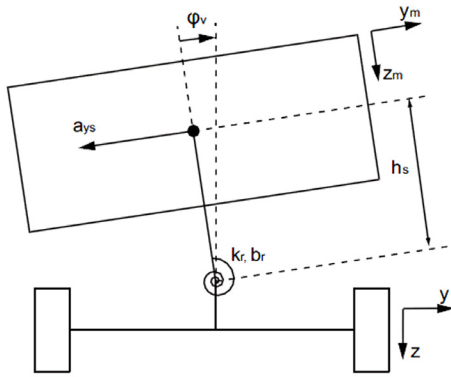


Fig. 3 Vehicle roll model

이 때, 모멘트 암으로 작용하는 순간 회전 중심으로부터 현가질량 무게중심까지의 거리는 현가장치의 운동에 따라 변화하지만, 그 변화량의 크기는 전체 모멘트 암의 길이에 비하여 작으므로, 롤 운동의 모멘트 암의 길이 h_s 는 고정된 공칭값으로 근사하였다.

피치 운동에 역시 같은 과정을 통하면, 다음과 같은 롤 및 피치 운동에 대한 단순화된 회전운동 모델을 얻을 수 있다.

$$I_x = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k_x & -b_x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + m_s h_s \begin{bmatrix} 0 \\ a_{ys} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$I_y = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k_y & -b_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + m_s h_s \begin{bmatrix} 0 \\ a_{xs} \end{bmatrix} \quad (6)$$

식 (5), (6)의 ϕ, θ 는 차량 현가장치의 움직임에 제 의한 노면의 경사 및 현가장치의 움직임에 따른 모델 변수의 변화를 반영하지 못하나, 평탄한 노면 주행의 경우 신뢰할 수 있는 정확도를 갖는다. 현가장치의 운동 및 노면의 경사가 존재하는 운동에서의 ϕ, θ 의 추정은 이후 3장에서 다룰 자기장센서와의 결합을 통하여 그 정확도를 향상시킬 수 있다.

3. 센서 퓨전을 통한 방위각 추정

2.1절에서 차량의 현재 방위각에 대하여 자기장 측정치가 어떻게 변화하는지를 다루었다. 그러나 회전변환의 추정을 위하여 사용하는 측정값인 자기장의 경우 국지적 영역에서 크기가 일정하며, 이는 총 3개의 벡터 성분 중 자유도를 갖는 성분은 2개

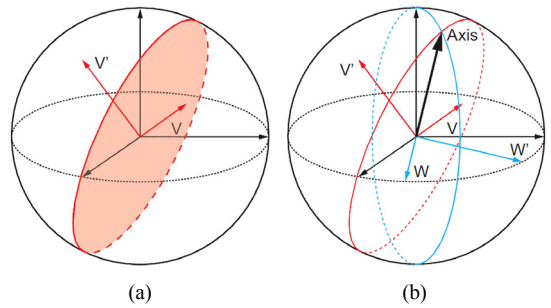


Fig. 4 (a) Solution from 1 vector observation (shaded area), (b) Solution from 2 vector observation

뿐임을 의미한다. 이에 따라 벡터 변환의 해 ϕ, θ, ψ 가 유일하게 결정되기 위한 최소 3개의 측정값을 만족하지 못한다. 따라서 전체 시스템은 부정 해를 갖게 되며, 벡터 관측을 통한 방위각의 추정은 부정 해의 집합 중 참값에 가장 가까운 최적 해를 찾는 것으로 결정된다.

이번 장에서는, 실제 차량 방위각을 예측하는 방법으로 두 가지를 제안한다. 첫째는 차량에 횡방향 운동에 의한 가속도가 존재하지 않는 경우, 횡 가속도 센서를 이용하여 생성한 가상의 중력 벡터를 사용하여 차량의 현재 방위각을 추정한다. 둘째로 차량이 가속도를 갖는 운동을 하는 경우, 요레이트 센서와 롤, 피치 모델을 자기장 센서와 결합한 확장 칼만 필터를 통한 방위각 추정 방법을 제안한다.

3.1 의사 벡터 측정을 통한 정적 방위각 추정

앞서 하나의 벡터 측정을 사용하는 경우 그 회전 변환의 해를 유일하게 결정할 수 없음을 설명하였다. 따라서 차량의 방위각을 정의하기 위해선 추가적인 벡터 관측이 필요하며, 관측되는 벡터는 관성계에서의 값이 알려져 있어야 한다.

조건에 부합하며 상정된 시스템의 구성 요소로 측정할 수 있는 벡터는 지구의 중력가속도이다. 시스템은 x, z 방향에 대한 가속도 센서를 포함하고 있지 않으므로, 다음과 같은 가상의 측정값을 설정한다.

$$\vec{g}^m = \begin{bmatrix} 0 & a_y & \sqrt{1-a_y^2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

식 (7)의 \vec{g}^m 은 횡방향 가속도 a_y 로부터 생성된 가상의 중력가속도로서, 차량이 정적 상태에 놓여 있어 a_y 에 관성힘이 포함되지 않고, 종방향 경사가 존

재하지 않는 경우에 대하여 유효하다.

가상의 벡터 측정 \vec{g}^m 과 자기장 센서를 사용하면 추정해야 할 변수 ϕ, θ, ψ 에 대하여 4개의 유효 측정값을 사용할 수 있다. 그러나 두 개의 벡터 측정은 센서의 오차 및 외란 등의 요소로 인하여 서로의 회전 변환이 완벽하게 일치하지 않으며, 해석적 방법으로 해를 도출해 내는 경우 초과 정의된 시스템에 의하여 경우에 따라 해가 존재하지 않을 수 있다. 이에 대하여, 보다 신뢰할 수 있는 자기장 센서의 관측 오차를 최소화하는 최적 값을 선택하는 TRIAD⁶⁾ 알고리즘을 적용하였다.

기준 좌표계에 고정된 \vec{H}, \vec{g} 와 측정 값 \vec{B}^m, \vec{g}^m 은 회전 변환 R_R^m 에 대하여 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\begin{aligned} \vec{B}^m &= R_R^m \vec{H} \\ \vec{g}^m &= R_R^m \vec{g} \end{aligned} \quad (8)$$

위와 같은 관계식에서 $R_R^m \vec{H} = \vec{B}^m$ 을 만족시키며 $\|R_R^m \vec{g} - \vec{g}^m\|$ 을 최소화하는 R_R^m 은 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} R_{R, Triad}^m &= [s_1 | s_2 | s_3] [r_1 | r_2 | r_3]^T \\ \vec{s}_1 &= \frac{\vec{B}^m}{\|\vec{B}^m\|}, \vec{s}_2 = \frac{\vec{B}^m \times \vec{g}^m}{\|\vec{B}^m \times \vec{g}^m\|}, \vec{s}_3 = \frac{\vec{s}_1 \times \vec{s}_2}{\|\vec{s}_1 \times \vec{s}_2\|} \\ \vec{r}_1 &= \frac{\vec{H}}{\|\vec{H}\|}, \vec{r}_2 = \frac{\vec{H} \times \vec{g}}{\|\vec{H} \times \vec{g}\|}, \vec{r}_3 = \frac{\vec{s}_1 \times \vec{s}_2}{\|\vec{s}_1 \times \vec{s}_2\|} \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)로부터 얻어진 $R_{R, Triad}^m$ 을 이용하여 아래와 같이 차량의 방위각 ϕ, θ, ψ 를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \phi_{Triad} &= \arctan\left(\frac{R_{R, Triad}^m(2,3)}{R_{R, Triad}^m(3,3)}\right) \\ \theta_{Triad} &= -\arcsin R_{R, Triad}^m(1,3) \\ \psi_{Triad} &= \arctan\left(\frac{R_{R, Triad}^m(1,2)}{R_{R, Triad}^m(1,1)}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

3.2 확장 칼만 필터를 통한 방위각 추정

3.1절에서 얻은 식 (10)은 차량이 동적 주행상태에 놓여 있는 경우 그 정확도의 저하로 인하여 신뢰할 수 없다. 이 절에서는 식 (5), (6)의 차량 롤 피치 운동 모델과 자기장 센서를 사용한 확장 칼만 필터

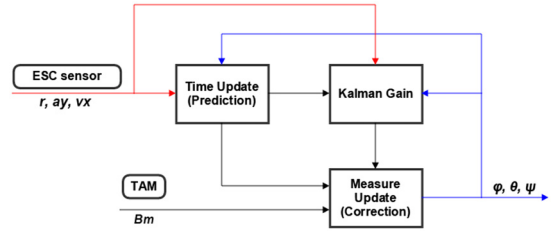


Fig. 5 Schematic diagram of EKF

를 통하여 동적 상태에서 유효한 차량 방위각 추정 방법을 제안한다.

확장 칼만 필터는 Fig. 5와 같이 구성되었다. 먼저, 관성 센서의 측정값 및 이전 샘플의 추정 값을 사용하여 시간 전이 모델에 대한 적분을 수행하고, 모델에 의한 추정값을 자기장 센서의 측정값과 비교하여 발생하는 오차를 칼만 계인을 통하여 보정한다. 시간 전이 모델과 관측 모델은 다음과 같이 구성되어 있다.

Time Update Model

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{\phi} \\ \hat{\theta} \\ \hat{\psi} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{k_x}{I_x} & -\frac{b_x}{I_x} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{k_y}{I_y} & -\frac{b_y}{I_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\phi} \\ \hat{\theta} \\ \hat{\psi} \end{bmatrix} \\ &+ m_s h_s \begin{bmatrix} 0 \\ -a_{ys}/I_x \\ 0 \\ a_{xs}/I_y \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\phi \sin\theta \\ 0 \\ -\sin\phi \\ 0 \\ \cos\phi \cos\theta \end{bmatrix} r_s^m \end{aligned} \quad (11)$$

Measurement Update Model

$$\begin{aligned} \vec{B}_m^m &= \begin{bmatrix} C\hat{\theta}C\hat{\psi} & C\hat{\theta}C\hat{\psi} & -S\hat{\theta} \\ -C\hat{\phi}S\hat{\psi} + S\hat{\phi}S\hat{\theta}C\hat{\psi} & C\hat{\phi}C\hat{\psi} + S\hat{\phi}S\hat{\theta}S\hat{\psi} & S\hat{\phi}C\hat{\theta} \\ S\hat{\phi}S\hat{\psi} + C\hat{\phi}S\hat{\theta}C\hat{\psi} & -S\hat{\phi}C\hat{\psi} + C\hat{\phi}S\hat{\theta}S\hat{\psi} & C\hat{\phi}C\hat{\theta} \end{bmatrix} \vec{H} \end{aligned} \quad (12)$$

공분산 Q_k, R_k 는 다음과 같이 유의미한 대각 성분만을 선택하였다.

$$\begin{aligned} Q_k &= \text{diag}[\sigma_x \ 0 \ \sigma_y \ 0 \ \sigma_z] \\ R_k &= \text{diag}[R_x \ R_y \ R_z] \end{aligned} \quad (13)$$

이 절에서 얻은 확장 칼만 필터의 차체 방위각 추정 결과는 요 레이트 r_m^s 와 차량 속도 $v_{x,s}$ 의 측정을 통해 차량이 정적 상태에 놓여있지 않다고 판별되는 경우 3.1절의 Triad 알고리즘을 대체하여 차량 방위각을 추정한다.⁷⁾

4. 시뮬레이션 결과

제안한 알고리즘의 검증을 위하여 상용 차량 동역학 시뮬레이션 툴인 카심(CarSim, MSC)을 사용하였다. 시뮬레이션은 총 4개의 시나리오에서 수행되었으며, 각각의 세부 조건은 다음과 같다.

Table 1 Simulation maneuver

No.	노면 조건	속도	경로	비고
Case 1	Flat	80	DLC	
Case 2	Bank	80	Straight	20 deg
Case 3	Hill	80	Straight	Up&Down
Case 4	Arbitrary	120	DLC	

케이스 2의 경우 x축에 대하여 20°의 경사가 존재하는 노면을 직진 주행하는 경우이며, 케이스 3의 경우는 차량이 구배를 넘는 경우를 상정하였다. 케이스 4의 경우 산길과 같은 x, y 축에 대한 복합적인 경사 및 선회구간이 존재하는 노면에서의 방위각 추정이다.

시뮬레이션은 각각의 케이스에 대하여 2.3절의 차량 모델만을 사용한 결과, 3.1절의 Triad 알고리즘만을 사용한 결과, 단순화된 차량 모델만을 사용한 결과, 확장 칼만 필터를 사용한 결과에 대하여 수행하였다. 또한 확장 칼만 필터 사용한 경우 2.3절의 차량 모델을 이용한 시간 전이 모델을 사용한 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어, 단순화된 롤 피치 운동 모델이 방위각 추정에 기여할 수 있는지 여부를 확인하였다.

Triad 알고리즘만을 사용하는 경우 전체 시나리오에서 볼 수 있듯이 좌, 우의 운동에 따라 a_{ys}^m 이 급격하게 변화하며, 가상의 벡터 관측인 \vec{g}^m 이 실제 중력가속도 벡터와 큰 오차를 가지게 된다. 이에 따라 Triad만을 단독으로 사용하는 경우 차량이 선회운동을 하는 구간에서 추정의 정확도가 크게 저하되

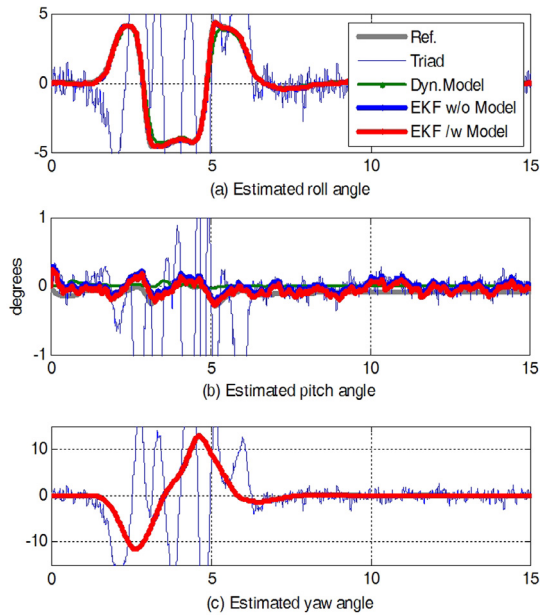


Fig. 6 Simulation Result : Case 1

었다. 그러나 케이스 2에서 볼 수 있듯이 차량의 횡방향 운동이 존재하지 않는 경우 Triad 역시 높은 추정 정확도를 보였다.

차량 롤 피치 모델을 사용하여 적분을 수행한 경우, 예상할 수 있듯이 평면에서의 움직임에는 높은 정확도를 보였으나, 노면의 경사가 존재하는 경우 그 적분 결과는 실제 값을 반영하지 못하였다.

본 연구에서 제안하는 통합 추정기를 사용하는 경우 정적, 동적 구간 모두 차량 방위각의 경향성을 잘 추정 하였으며, 정상 상태 오차 또한 시간에 따라 0으로 수렴함을 확인하였다.

단순화된 차량 모델을 포함하지 않은 경우 Fig. 6, 7, 9에서와 같이 횡운동이 발생한 이후 요 각도에 정상 상태 오차가 발생하지만, 차량 모델을 포함한 경우 동적 구간에서의 추정 정확도 손실을 최소화하며 정상상태 오차를 효과적으로 감소시켰다.

위의 시뮬레이션 결과를 통하여 TRIAD를 이용한 정적 추정과 롤 및 피치 모델을 사용한 동적 추정 방식이 상호 보완 과정을 통하여 각각의 방식이 갖는 제약조건을 극복하고 확장 칼만 필터와의 결합을 통해 다양한 조건에서 차량 자세 추정 장치로 활용될 수 있는 가능성을 확인하였다.

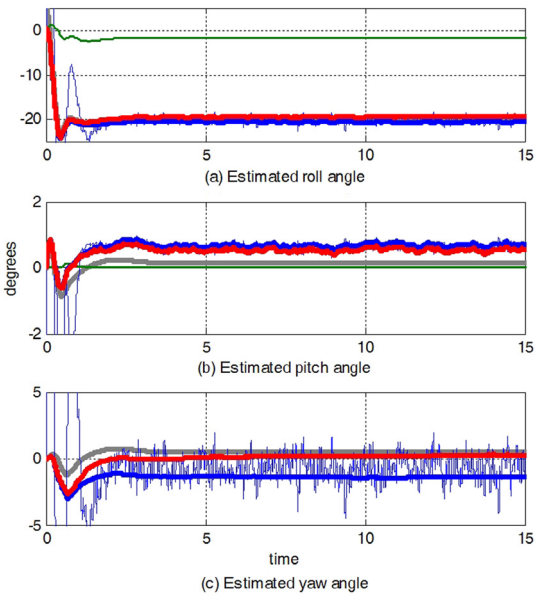


Fig. 7 Simulation result : Case 2

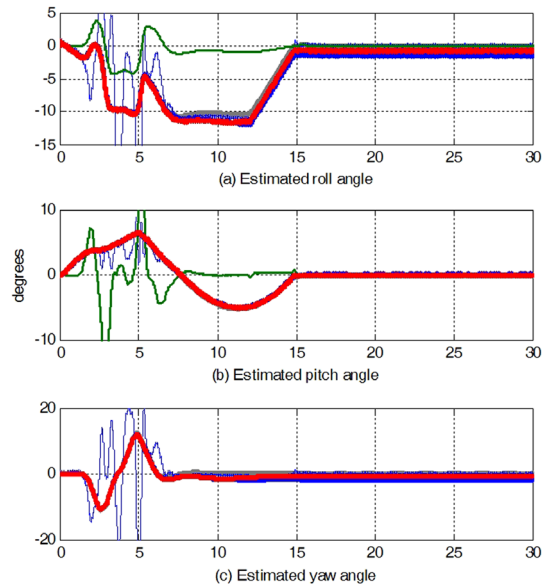


Fig. 9 Simulation result : Case 4

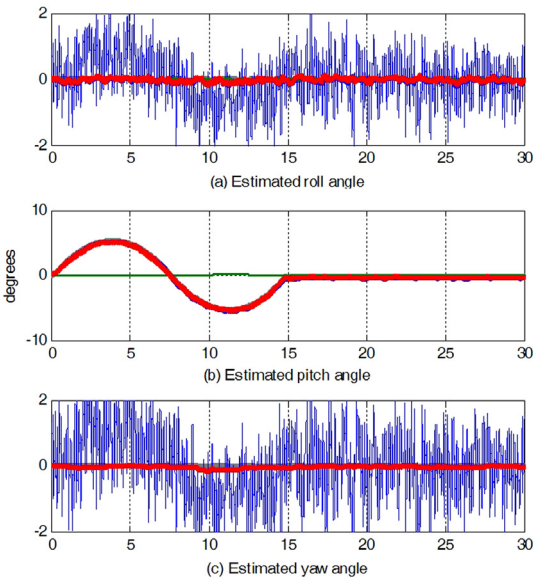


Fig. 8 Simulation result : Case 3

5. 결 론

본 연구에서는 자기장 센서를 사용한 벡터관측과 간소화된 차량 롤 피치 운동 모델을 결합하여, 기본적인 ESC 시스템의 구성요소인 횡방향 가속도 및 요레이트 센서가 장착된 차량의 방위각 추정 방법을 제안하였다. 3.1절에서는 가상의 중력가속도 판

측값을 설정하여 두 개의 벡터 관측을 통한 TRIAD 알고리즘을 구현하였으며, 3.2절에서는 2.3절에서 구성한 차량 롤 피치 운동 모델을 기반으로 자기장 센서와 관성 센서를 결합한 확장 칼만 필터를 제시하였다.

이후 상용 차량 시뮬레이션 툴인 카심을 이용하여, 제안한 알고리즘의 타당성 및 성능을 검증하였고, 기존에 제시되었던 모델 기반의 방위각 추정 방법들이 노면의 변화에 강건하지 못하였던 것에 비하여 복합적인 경사로에서의 동적 상황에서도 강건한 추정 성능을 보였다.

다만, 스프링-댐퍼 시스템을 묘사한 차량 모델이 사용되고 있기 때문에 노면 뱅크가 존재하는 경우, 노면의 경사가 스프링의 변위로 취급되어 이로 인한 모델의 복원력이 자기장 센서 측정에 의한 보정의 범위를 초과하는 경우 뱅크 각도가 실제보다 작게 측정되는 한계점이 존재한다.

제안하는 방법은 상용 차량에 탑재되어있는 센서를 활용하므로 추가적인 비용의 상승을 최소화 할 수 있으며, 간략한 차량 모델만을 사용하므로 다양한 시스템에 제안하는 관측기를 적용할 때, 변수의 조정 절차를 크게 줄일 수 있다.

그러나 자기장 센서를 이용한다는 특성 상, 주변

지형 또는 구조물에 따라 추정 성능에 영향을 받을 수 있으며, 따라서 향후 연구의 과제로 자기장의 외란에 의한 추정 성능의 영향을 분석하고 강건성을 향상시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 진행되어야 할 필요성이 있다.

후 기

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT융합고급인력과정지원사업의 연구결과로 수행되었다. (IITP-2015-H8601-15-1005) 또한 이 논문은 2015년도정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2010-0028680).

References

- 1) J. J. Oh and S. B. Choi, "Vehicle Velocity Observer Design Using 6-d Imu and Multiple-observer Approach," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.13, No.4, pp.1865-1879, 2012.
- 2) H. Kim and J. Ryu, "Sideslip Angle Estimation Considering Short-duration Longitudinal Velocity Variation," Int. J. Automotive Technology, Vol.12, No.4, pp.545-553, 2011.
- 3) M. L. Psiaki, F. Martel and P. K. Pal, "Three-axis Attitude Determination via Kalman Filtering of Magnetometer Data," Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol.13, No.3, pp.506-514, 1990.
- 4) J. H. Yoon and H. Peng, "A Cost-effective Sideslip Estimation Method Using Velocity Measurements from Two GPS Receivers," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.63, No.6, pp.2589-2599, 2014.
- 5) J. L. Crassidis, K. L. Lai and R. R. Harman, "Real-time Attitude-independent Three-axis Magnetometer Calibration," Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol.28, No.1, pp.115-120, 2005.
- 6) L. Markley, "Attitude Determination Using Two Vector Measurements," NASA Conference Publication, NASA, 1999.
- 7) Y. J. Hwang, Cost-Effective Vehicle Attitudes Estimation by Using Magnetometer and GPS, M. S. Thesis, KAIST, Daejeon, 2015.