

선택적 확장 칼만 필터 방식의 자세 추정

윤인용* · 심재용** · 김중규*

*성균관대학교

** (주)로터스एको

Selective Extended Kalman Filter based Attitude Estimation

In-Yong Yun* · Jae-Ryong Shim** · Joong-Kyu Kim*

*Department of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746,

Korea

**LotusEco,Ltd, Korea

E-mail : jkkim@skku.edu

요 약

본 논문에서는 센서 결합을 이용하여 강체 자세 추정을 정확히 할 수 있는 선택적 확장 칼만 필터 방법을 제안한다. 강체의 자세는 Gauss-Newton 방법을 적용하여 가속도 데이터와 지자기 데이터로 부터 쿼터니언 상태 변수를 개략 추정하고 비전 정보와 자이로 센서 정보를 이용하여 정밀 추정을 하는데 외부 간섭 잡음이 강 할 경우 이 방식을 이용한 개략 추정이 어려워진다. 본 논문은 외부 간섭 잡음의 정도를 측정하고 잡음이 강할 때 비전 정보와 자이로 센서정보를 주로 이용하는 선택적 확장 칼만 필터 방법을 이용하여 추정 값에 대한 신뢰도를 높인다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a selective extended Kalman filter based accurate pose estimation of the rigid body using a sensor fusion method. The pose of a rigid body can be estimated roughly by the Gauss-Newton method using the acceleration data and geomagnetic data, which can be refined with vision information and the gyro sensor information. However strong external interference noise makes the rough pose estimation difficult. In this paper, according to the measurement level of the external interference noise, the extended Kalman filter selectively uses mostly vision and gyro sensor information to increase the estimation credibility under strong interference noise environment.

키워드

선택적 확장 칼만 필터, 가우스 뉴턴 가속도, 지자기, 자이로 센서

1. 서 론

최근 웨어러블 디바이스의 사용 증가와 스마트폰의 성능과 사용 범위가 증가하면서 고성능 컴퓨터에서 활용되던 가상현실(VR)과 증강현실(AR)을 스마트폰에 적용하는 많은 연구가 진행 되고 사용자에게 제공 되고 있다. 이러한 응용 어플리케이션을 제공하기 위해 가장 중요한 요소는 강체(i.e. 스마트폰)에 대한 자세(attitude) 추정 정확도를 높이는 것이며, 이는 고정된 실세계와 강체와의 관계를 추정하는 문제로 볼 수 있다.

영상을 기반으로 하는 방법은 특정한 마커를 사용하

여 영상에서의 위치를 쉽게 찾을 수 있고, 추가적인 정보를 얻을 수 있어 스마트폰의 자세를 추정하는데 많이 사용되고 있다. 정보가 많은 특정한 패턴을 이용한 마커를 고정된 환경에서 사용하므로 영상을 통해 스마트폰의 자세 및 위치를 정확하게 추정 한다. 하지만, 움직임이 크고 시각 정보를 잃어버린 경우에는 자세 및 위치 추정 정보의 정확성은 매우 떨어진다. 이를 해결하기 위해 많은 연구들이 스마트폰에 내장되어 있는 IMU(Inertial Measurement Unit) 센서(3축 지자기 센서, 3축 가속도 센서, 3축 자이로 센서)를 이용하는 방법을 제안하고 있다. 스마트폰에 내장되어 있는 IMU 센서는 저가의 반도체 칩으로 측정되어 많은 노이즈를 포함하고 있으며, 시

간이 흐름에 따라 자이로 센서의 드리프트 오차가 누적 되는 문제가 있다.

본 논문에서는 스마트폰에 대한 자세를 추정하기 위한 두 센서의 결합시 발생하는 추정 오차를 최소화하기 위한 방법을 제안한다. 정확한 추정 성능을 확보하기 위해 쿼터니언을 이용한 확장 칼만 필터(Extended Kalman Fiter, EKF)를 기반으로 IMU 센서에서 획득한 데이터와 영상으로 획득된 Modelview matrix를 결합한다. 2장에서 센서 결합을 위한 쿼터니언 기반의 확장 칼만 필터 모델을 제안하고, 3장에서 실험을 통해 성능을 입증한다. 마지막 4장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

본 논문에서 쿼터니언은 칼만 필터를 사용한 센서 융합결과를 표현하기 위해 사용 하였다. 쿼터니언은 짐 볼락(gimbal lock)현상을 방지하여 강체의 자세를 표현하는데 많이 사용되며, 하나의 스칼라와 세 개의 벡터 요소로 구성되며 다음 식(1)과 같다.

$$q = [q_0, q_1, q_2, q_3, q_4]^T = [q_1, q_2, q_3, q_4]^T \quad (1)$$

쿼터니언의 특성에 대해 참고 논문[1]에서 자세히 다루고 있으며, 일반적인 대수적 특성 및 동작을 지원한다.

IMU센서에서 강체의 자세 쿼터니언 q^{nb} 를 추정하기 위해 Gauss-Newton (GN)[2]방법을 적용하였으며, 계산 과정은 다음과 같다.

$$q_{k+1}(t) = q_k(t) - [J_k^T * J_k]^{-1} * J_k^T * e' \quad (2)$$

여기서, J_k 는 q_k 에서 계산된 e' 의 자코비안이다. 반복 연산을 통해 에러가 최소화 되는 지점을 찾고 그때의 쿼터니언 값을 사용하게 된다. 자세한 내용은 참고 논문[2]에서 확인 할 수 있다.

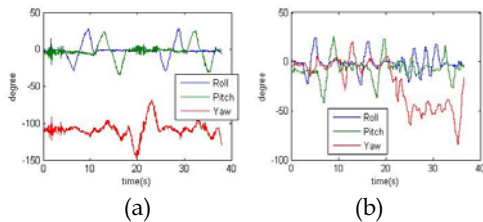


그림 1. IMU센서에서 획득한 강체의 자세값(오일러각 변환). (a) 외부 간섭 없는 경우, (b) 외부 간섭이 발생한 경우(z-축)

스마트폰에 내장되어 있는 IMU센서를 이용하여 가우스-뉴턴방법을 통해 강체의 자세를 추정할 때, 외부에서의 간섭에 의해 지자기 센서에 오류가 발생할 경우 가우스-뉴턴방법에 의해 생성된 쿼터니언값에 그림 1(b)와 같이 자세 값에 오차가 발생할 수 있다.

비전을 이용한 강체의 자세 추정은 대부분의 경우 IMU센서를 이용한 방법보다 정확한 결과를

얻을 수 있다. 그러나 타겟이 가려지거나 빠른 움직임을 보이면 정확도가 떨어지기 때문에 두 센서의 융합을 이용한 타겟에 대한 강인한 자세 추정 방법이 요구된다. 비전과 IMU센서에 대한 확장 칼만 필터를 통한 결합을 수행하기 위해 다음과 같이 구성 하였다.

$$x_{k,i+1} = F_{k,i}x_{k,i} + w_k \quad (3)$$

$$P_{k,i+1} = F_{k,i}P_{k,i}F_{k,i}^T + Q_{k,i} \quad (4)$$

식 (3)에서의 F는 상태 천이 행렬(transition matrix), w 는 백색잡음(white gaussian noise)을 나타내며, $x_{k,i}$ 는 이전 시간의 최적 추정된 상태 벡터를 이용하여 사전 추정된 상태 벡터이며, $x_{k,i+1}$ 는 $x_{k,i}$ 를 활용하여 사전 추정한 결과이다. 선택적 칼만 필터를 위해 상태 벡터는 다음과 같이 구성된다. 상태 벡터 $x = [w, q, t, v]$ 로 w 는 각속도, q 는 쿼터니언, t 는 위치벡터, v 는 속도벡터 이다. 식 (4)은 사전 추정된 상태 벡터를 이용하여 공분산을 추정하는 단계이다. $Q_{k,i}$ 는 프로세스 노이즈에 대한 공분산 행렬이다. 이를 활용하여 사후 추정을 수행 하는데, 사후 추정은 센서들로부터 데이터가 획득 되었을 때 사전 추정 상태와의 결합과정을 통해 이루어지며 다음 식(5)에서 식(7)과 같다.

$$K = P_{k,i+1}H_{k,i}^T(H_{k,i}P_{k,i+1}H_{k,i}^T + R_{k,i})^{-1} \quad (5)$$

$$\hat{x} = x_{k,i+1} + K(y_{k,i} - h(x_{k,i+1})) \quad (6)$$

$$\hat{P} = P_{k,i+1} - KH_{k,i}^T P_{k,i+1} \quad (7)$$

여기서, K는 칼만 이득이며, $y_{k,i}$ 는 측정 벡터로 $[w, q_{imu}, q_{vision}, t_{vision}]$ 으로 구성된다. w 는 자이로 측정값, q_{imu}, q_{vision} 는 각각 IMU와 비전 센서로부터 획득한 자세 쿼터니언, t_{vision} 는 비전 센서로 획득한 위치벡터이다. $R_{k,i}$ 은 센서(IMU, 카메라) 측정시 포함되는 노이즈에 대한 측정 분산 행렬이다.

사후 추정에 대한 상태 벡터를 획득하기 전에 측정값에 대한 신뢰도를 확인하는 과정을 추가하여 선택적 칼만 필터를 적용 하였다. 신뢰도를 확인하기 위해 지자기 센서의 간섭 영향 확인[3]하고 이전 시간에 획득한 강체 자세에 대한 사후 추정값과 GN을 통해 획득한 자세값과 비교 하였다.

$$\hat{\theta}_m = \cos^{-1} \left(\frac{C_b^m(q_{k,i+1})m_{k,i} \cdot C_b^m(q_{k,i+1})a_{k,i}}{\|m_{k,i}\| \|a_{k,i}\|} \right) \quad (8)$$

식 (8)은 지자기센서의 외부 간섭을 확인하기 위한 공식으로 $C_b^m(\cdot)$ 는 방향 코사인 (Direction

cosine) 변환 행렬이며, $m_{k,i}, a_{k,i}$ 는 각각 지자기 센서, 가속도센서 측정값이다. $q_{k,i+1}$ 는 사전 추정된 상태 벡터에서의 자세 쿼터니언 이다.

$$\hat{\theta}_q = 2 * \cos^{-1}(\Delta q_{err,4}) \quad (9)$$

$$\Delta q_{err} = q_{k,i}^{imu} \otimes (q_{k,i}^{ekf})^{-1} \quad (10)$$

식 (9)와 (10)은 자세 쿼터니언의 에러를 확인하기 위한 공식이며, IMU센서 쿼터니언과 EKF를 통해 예측된 쿼터니언의 계산을 통해 에러값을 획득 하였다. 선택적 칼만필터의 적용을 위해 두 에러값을 분석하여 일정한 값을 넘어간 경우 $R_{k,i}$ 에서 분산 값을 통해 가중치를 조절하여 선택적으로 데이터가 칼만필터에 영향을 주도록 하였다.

III. 분석

스마트폰을 이용하여 획득한 데이터를 사용하여 시뮬레이션을 수행 하였다. 그림 2는 제안하는 EKF를 이용하여 획득한 스마트폰의 자세 쿼터니언값을 오일러각으로 변환하여 표현한 결과이다. 그림 2(a)는 외부 간섭이 최

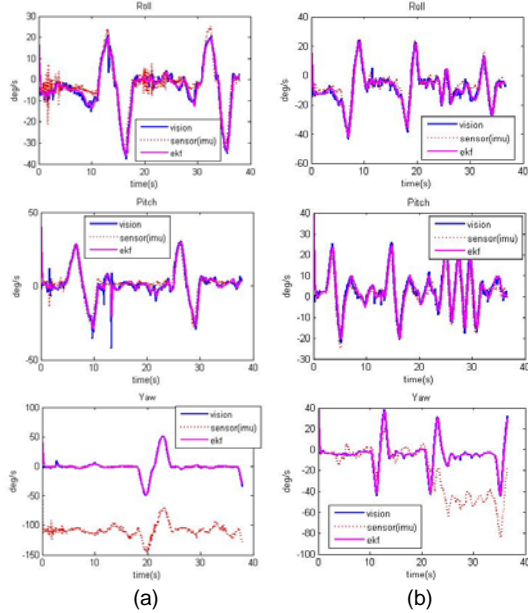


그림 2. EKF 결과(오일러각 변환). (a) 외부 간섭 없는 경우, (b) 외부 간섭이 발생한 경우(z-축)

소화된 데이터에서의 EKF 결과이며, 그림 2(b)는 외부 간섭의 영향으로 z축의 자세값에 에러값이 포함된 경우이다. 그림 2에서 파란 실선은 비전 센서를 이용하여 획득한 데이터이며, 빨간 점선은 가우스-뉴턴 방법을 이용하여 획득한 IMU센서의 자세 데이터이다, 마지막으로 분홍색 실선은 제안하는 EKF를 이용하여 추정된 자세 데이터 값이다. 그림 2(b)에서 보이듯 측정 데이터가 외부

간섭에 의해 오차를 많이 포함하고 있더라도 안정적으로 자세를 추정하는 것을 확인 할 수 있다.

IV.결 론

본 논문에서는 스마트폰의 IMU센서와 비전 센서를 결합하여 센서 측정 오차로 인해 발생하는 에러를 최소화하기 위한 개선된 확장 칼만 필터 기반의 자세 추정 방법에 대하여 제안하였다. 제안하는 방법을 통해 입력 데이터의 오차를 분석하고 선택적 칼만 필터의 적용을 통해 보다 개선된 추정 값을 획득 하는 것을 확인 하였다. 추후 더 많은 데이터를 확보하고 실험을 통해 노이즈에 강인하며, 정밀한 자세추정이 가능함을 보일예정이다.

참고문헌

[1] VINCE J.: Quaternions for Computer Graphics", Springer, ISBN 978-0-85729-760-0, 2011
 [2] Comotti, D., "Orientation estimation based on gauss-newton method and implementation of a quaternion complementary filter." tech. rep., pp. 1-8, 2011.
 [3] Sabatini, A, M., "Quaternion-Based Extended Kalman Filter for Determining Orientation by Inertial and Magnetic Sensing", IEEE Trans on, BME, Vol 50, No. 7, pp. 1346-1356, 2006.