

이동거리측정을 위한 가속도센서의 보정 알고리즘

이 병희, 박 명관
 동양대학교 시스템제어공학부

Accelerometer Compensation Algorithm for Distance Measurement

ByungHee Lee, Myung-Kwan Park
 School of System Control Eng. Dongyang University.

Abstract - 본 연구에서는 반도체형으로 생산된 가속도센서를 적용하여 거리를 측정하는데 있어 문제점에 대해 언급하고, bias drift error에 따른 적분 누적오차를 줄이기 위한 방법으로 random noise를 감소시키고 위치 추정을 위한 데이터 융합에 가장 일반적으로 적용되는 Kalman Filter 알고리즘을 적용하여 가속도 데이터를 상대적 위치 데이터로 변환하여 거리측정에 적용하였다. 또한 가속도센서를 관절형 로봇에 부착시켜 실험하여 이동거리를 산출하는 실험을 수행하였다. 실험 결과 보상 알고리즘을 사용했을 때의 zero drift error과 누적오차가 감소됨을 알 수 있었다.

1. 서 론

어떤 시스템의 위치를 현재 위치를 측정하고자 하는 경우 상대적 위치와 절대적 위치를 측정하고자 할 것이다. 절대적 위치시스템은 이전의 위치에 의존하지 않고 현재 계산에 의한 위치를 나타내는 것을 의미한다. 예를 들면 절대 위치 시스템은 지구 위치 측정 시스템GPS(Global Positioning System)이다. 이 시스템은 누적오차가 없는 장점을 갖고 있으나, 주위 환경의 영향이 많고, 실내에서 사용할 수 없고, 비교적 낮은 출력의 단점을 갖고 있다. 상대적인 위치 시스템은 Dead Reckoning 방법을 사용하여 각도와 거리데이터를 사용하여 현재 위치를 찾게 된다. 상대적인 위치 시스템으로 가장 일반적으로 사용하는 것이 INS (Inertial Navigation System)이다. 가속도계와 자이로를 이용한 Dead Reckoning 방법의 위치시스템을 관성항법이라고 하며, 자이로는 각속도를 측정하고 가속도계는 가속도를 측정하여 각속도를 적분하여 각도 데이터를 얻으며, 가속도를 이중적분을 통하여 거리데이터를 얻게된다. 그러나 관성항법은 bias drift error이 존재하는 단점을 갖고 있어 적분에 의한 누적오차가 존재하게된다.

이러한 관성 센서를 적용한 응용은 여러 분야에서 적용되어지고 있다. 특히 이동 로봇의 위치 추정을 위한 응용[1][2], 가상환경 시뮬레이터의 센서응용[3], 자율주행 차량에 응용[4]등 여러 가지로 적용되는 것을 알 수 있다. 또한 근래에 들어서 관성 센서들이 MEMS의 발전과 더불어 반도체형으로 생산되고 있어 소형화 및 저가격화가 이루어짐에 따라 적용용도도 확대되고 있는 추세이다. 그러므로 본 연구에서는 반도체형으로 생산된 가속도 센서를 적용하여 거리를 측정하는데 있어 문제점에 대해 언급하고, bias drift error에 따른 적분 누적오차를 줄이기 위한 방법으로 random noise를 감소시키고 위치 추정을 위한 데이터 융합에 가장 일반적으로 적용되는 Kalman Filter 알고리즘을 적용하여 가속도 데이터를 상대적 위치 데이터로 변환하여 거리측정에 적용하였다. 또한 가속도센서를 관절형 로봇에 부착시켜 실험하여 이동거리를 산출하는 실험을 수행하였다.

2. 가속도센서 보정 알고리즘

2.1 가속도센서의 에러 모델

가속도센서의 바이어스 에러 모델은 zero drift로부터 도출된다. 정지 상태의 가속도 계로부터 12시간 동안 제로 점의 거동을 수집하여 zero drift의 경향을 도출한다. 이 모델의 적합성은 zero drift로부터 에러 모델을 뺀 나머지 데이터의 whiteness를 측정함으로써 판단할 수 있다. 그림 1은 12시간 동안 실험적으로 정지상태에서의 가속도센서의 출력을 나타내며, 이를 바탕으로 zero drift에 대한 모델은 다음과 같은 미분 방정식 형태로 나타내어질 수 있다.

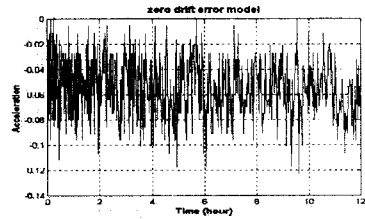


그림 1. 정지상태에서의 가속도센서의 zero drift.

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}(t) &= \frac{C_1 + C_2}{T} \varepsilon(t) \\ \varepsilon(0) &= C_2, \quad \dot{\varepsilon}(0) = \frac{C_1}{T} \end{aligned} \quad (1)$$

이 식은 다음과 같이 이산화 된다.

$$\varepsilon(k+1) = \frac{T}{T+T_s} \varepsilon(k) + \frac{T}{T+T_s} (C_1 + C_2) \quad (2)$$

이 차분 방정식은 회귀적 성질 때문에 초기 바이어스의 관측에 의존하며 시작 시간에 독립적이다. Kalman filter는 본질적으로 신호에 혼합된 백색 잡음을 제거하기 위한 알고리즘으로서 Bias, offset 등 colored noise는 모델링에 의해 제거되어야만 그 효과가 기대된다. INS는 상대적인 가속도를 좌표 변화시켜 절대 가속도를 구하고, 적분을 통하여 위치 방향 각을 산출하는 장치이다. 적분 변환은 본질적으로 미소한 가속도 오차라도 누적되어 엄청난 위치 오차를 가져오게 된다. 특히 Bias성 오차는 치명적인 에러 요인이 될 수 있다. 따라서 에러 보상 알고리즘은 (1)센서 신호의 기준점 보상(센서 신호의 미소 직류성분 소거) (2) 오차를 줄이기 위해 에러 모델을 통한 Kalman filter를 채택하고자 한다.

2.2 Digital Kalman Filter Algorithm

가속도센서의 data에서 random noise를 줄이기 위해 Kalman filter를 적용하였다. 이 방법은 측정모델의 통계학적인 특성으로서 요구되는 data를 반복적으로 추정하는 방법이다. 기본적으로 통계학적인 방법은 상태공간 모델로 표현되는 시스템의 동특성과 시스템 에러의 통계학적특성을 결합하는 방법으로 시스템의 상태를 추정할 수 있게된다. 일반적인 Navigation system에서의 관심사는 주로 속도와 위치이며, 그 state들의 추정은 최소 에러 분산으로 최적화된 Kalman gain이라 불리는 weighting function을 사용하여 얻을 수 있다. 그러므로 Kalman filter는 시스템의 현재 상태를 추정할 수 있으며 시스템의 다음 상태도 예측을 제공해주며, 다중의 센서를 결합된 시스템에도 적용할 수 있다.[5] 그림 2는 Digital Kalman filter의 알고리즘이다. 그림 3은 가속도센서의 신호의 random noise를 줄이기 위하여 3개의 적분기가 직렬로 연결되어있는 process model이다.

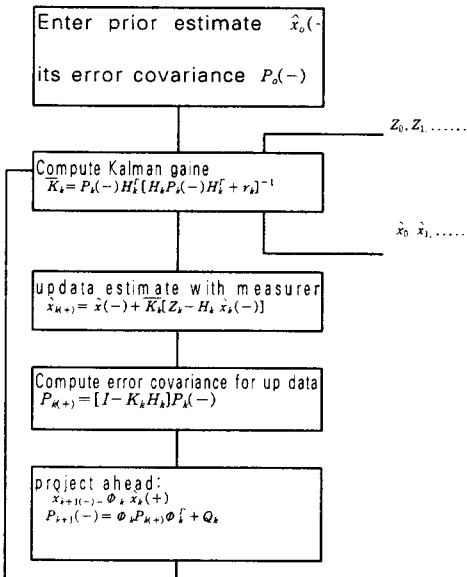


그림 2. Digital Kalman Filter 알고리즘

그림 2에서 표시된 각각의 notation은 다음과 같다.

- X_k : system state
- Z_k : measurement
- W_k : plant noise with its covariance Φ_k
- V_k : measurement noise with its covariance P_k
- "(-)": indicates the a priori values of the variables
- "(+)": indicates the a posteriori values of the variables
- \bar{K} : Kalman gain
- Φ_k : transition matrix at time t_k
- P_k : error covariance matrix.
- H_k : the measurement matrix

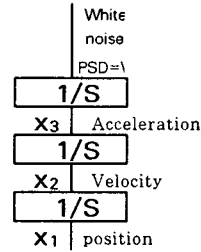


그림 3. 가속도 데이터에 대한 Process Model

여기서 시스템 파라미터로서 Kalman filter에 대한 transition matrix와 error covariance matrix는 다음과 같다.

$$\Phi_k = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & \frac{\Delta t^2}{2} \\ 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \frac{W}{20} \Delta t^5 & \frac{W}{8} \Delta t^4 & \frac{W}{6} \Delta t^3 \\ \frac{W}{8} \Delta t^4 & \frac{W}{3} \Delta t^3 & \frac{W}{2} \Delta t^2 \\ \frac{W}{6} \Delta t^3 & \frac{W}{2} \Delta t^2 & W \Delta t \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.3 가속도 센서의 실험

실험에 사용된 가속도센서는 2축 가속도 센서를 탑재한 ADXL-202로서 $\pm 2g$ 의 측정 범위를 갖는 가속도 센서이다. 동적 가속과 정적 가속을 측정 할 수 있고, 2축의 각각의 가속도에 비례하는 duty cycle형태의 신호로 출력된다.[6].

Micro-controller(8051)의 timer를 이용하여 가속도 센서의 출력인 duty cycle을 측정하여 가속도 데이터를 직렬통신을 이용하여 PC에 연속적으로 저장하였다. 저장한 데이터를 MATLAB을 사용하여 속도와 위치를 계산하여 plotting 하였으며, 원초적 데이터를 이용한 속도 위치의 추정과 Kalman filter를 적용한 경우의 추정을 비교하였다. 가속도 센서를 이동시키기 위해 그림4와 같이 삼성 FARA 로봇을 사용하였다. 삼성 FARA 로봇은 1축에서 6축의 관절을 갖는 로봇으로 로봇의 4축 끝에 가속도센서 실험 장치를 얹어 직선운동 하게 하였다. 로봇의 속도와 가속도를 제어를 통해서 속도는 0에서 1m/s의 범위와 가속도는 0에서 10 m/s²의 범위 내에서 실험을 하였다.



그림 4 가속도 센서 실험 장치.

그림 5는 8051 Microcontroller와 ADXL202를 탑재한 가속도센서의 평가보드를 보여준다.

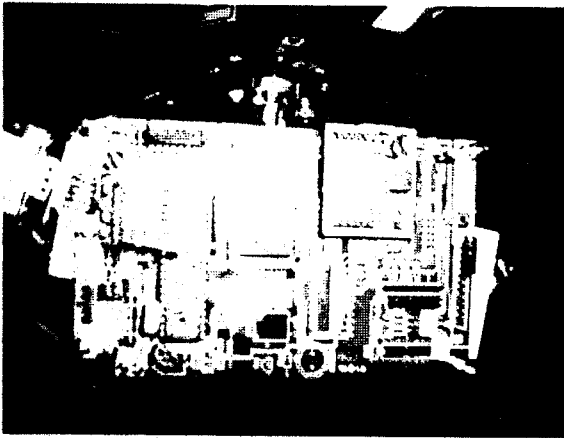


그림 5 가속도 센서 평가 보드

그림 6는 보상 알고리즘을 사용하지 않았을 때의 $10m/s^2$ 의 가속도와 $1m/s$ 의 속도로 $30Cm$ 의 거리를 왕복 운동 실험 결과를 보여 준다. 가속도 센서의 데이터에 존재하는 zero drift error와 누적 오차에 의해 속도성분과 위치성분에 대한 오차가 점점 커지는 현상을 보이는 것을 알 수 있다.

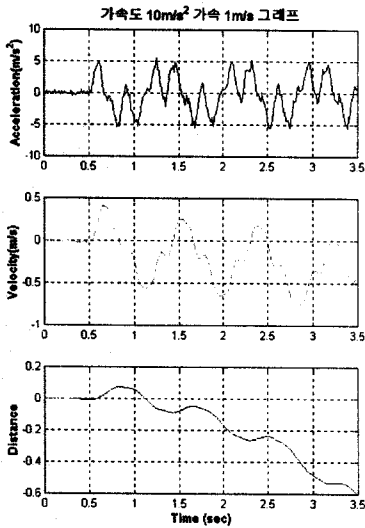


그림 6. 보상 알고리즘이 없을 때 실험결과

그림 7은 보상 알고리즘을 사용했을 때의 $10m/s^2$ 의 가속도와 $1m/s$ 의 속도로 $30Cm$ 의 거리를 왕복 운동 실험 결과를 보여 준다. 가속도 센서의 데이터에 존재하는 zero drift error가 줄어든 것을 볼 수 있으며 적분에 의한 누적 오차가 감소됨에 따라 속도성분과 위치성분에 대한 오차가 감소되는 현상을 보이는 것을 알 수 있다. 그러나 보정 알고리즘 적용 후에도 위치 성분에서 누적 오차가 존재하는 것을 알 수 있었다.

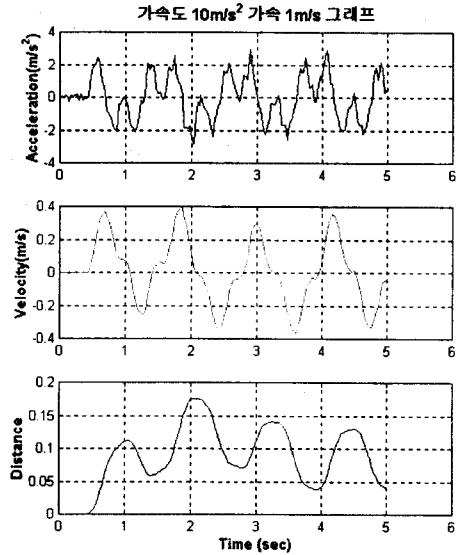


그림 7. 보상 알고리즘을 적용했을 때 실험결과

3. 결 론

본 연구에서는 반도체형으로 생산된 가속도센서를 적용하여 거리를 측정하는데 있어 문제점에 대해 언급하고, bias drift error에 따른 적분 누적오차를 줄이기 위한 방법으로 random noise를 감소시키고 위치추정을 위한 데이터 융합에 가장 일반적으로 적용되는 Kalman Filter 알고리즘을 적용하여 가속도 데이터를 상대적 위치 데이터로 변환하여 거리측정에 적용하였다. 또한 가속도센서를 관절형 로봇에 부착시켜 실험하여 이동거리를 산출하는 실험을 수행하였다. 실험 결과 보상 알고리즘을 사용했을 때의 누적오차가 감소됨을 알 수 있었으나 실제 이동 거리를 측정하고자 하는 응용에는 좀더 적합한 보상 알고리즘이 적용되어야 할 것으로 보이며 차후 연구과제로서 zero drift와 적분에 따른 누적오차에 적합한 보상 알고리즘에 대한 연구가 이루어져야 한다고 생각된다.

(참 고 문 헌)

- [1] Stephen B. H. Bruder and Kevin Wedeward "Terrain Aided INS Robot Navigation: A Deferred Decision Making Approach" Proceedings of the 1999 IEEE 42nd Midwest Symposium on Circuits and Systems -, 135-139, 19990808
- [2] Grantham pang and Hughliu, "Evaluation of a low-cost MEMS Accelerometer for Distance Measurement" J. of inelligent and Robotic Systems 30, 249-265, 2001
- [3] Keith A. Redmil et.al " Sensor and Data fusion Design and Evaluation with Virtual Environment Simulator" Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000 pp.668-674 2000.10
- [4] Kazuja Tamura et al. "Autonomous Vehicle Control System Equipped with Navigation System" Proceedings of the International Symposium on Advanced Vehicle Control , pp.361-367, 1998
- [5] G. F. Franklin, J. D. Powell, and M. Workman, 3rd Ed., Addison Wesley, "Digital of control of dynamic system" pp382-400, 1998
- [6] Analog Device, ADXL202 data sheet 1998