

소형 VTOL UAV 이착륙을 위한 지면과의 거리 추정

Distance estimation from ground for small VTOL UAV landing

윤병민*, 김상원**, 조선희**, 박종국***

ByoungMin Yun, SangWon Kim, SunHo Cho, ChongKug Park

Abstract - For automatic landing of small VTOL UAV, it is necessary to calculate the distance from the UAV and the ground. The distance can be generally measured by a ultra-sonic sensor, but the ultra-sonic sensor has errors according to velocity of a sensor board. To compensate these errors, we proposed a sensor fusion method using a Kalman filter.

Key Words : UAV landing, VTOL, distance estimation, kalman filter, ultra-sonic sensor

1. 서 론

UAV(Unmanned Aerial Vehicle)란 일반적으로 조종사가 없이 사전에 입력된 프로그램에 따라 또는 비행체 스스로 주위 환경(장애물, 항로)을 인식하고 판단하여 자율비행(autonomous flying)하는 비행체를 말한다. 무인항공기 개발 초기에는 단순한 정찰 위주로 영상정보를 수집 제공하는 것이 주된 기능이었으나, 현재는 다양한 종류의 무인항공기가 개발되어 활용되고 있고, 계속 새로운 목적의 무인항공기들의 개발이 진행되고 있다.

UAV는 자동으로 이착륙하기 위해서는 지면과의 거리 정보가 필요하게 되는데, VTOL(Vertical Take-Off / Landing)형의 UAV 경우 이착륙시의 지면과의 접근 속도는 특정되어 있지 않으므로 속도에 영향을 받지 않는 정밀한 지면과의 거리 추정이 중요하다.

이 논문에서는 지면과의 거리추정을 위해 초음파센서와 가속도 센서를 이용한 정밀한 추정방법을 제시한다.

2. 본 론

초음파센서는 송신된 초음파가 반사되어 돌아오는 시간을 해당 매질에서의 음속관계식에 대입하여 거리를 계측하게 된다.

저자 소개

- * 準 會 員 : 慶熙大學 電子學科 碩士課程
- ** 正 會 員 : 慶熙大學 電子學科 博士課程
- ***正 會 員 : 慶熙大學 電子學科 助教授 · 工博

$$C = 331.5 + 0.607t \text{ [m/s]} \quad (1)$$

여기서 t : 온도, C : 음속

UAV는 자율비행을 하므로 계측 대상인 지면이 상대적으로 움직이게 된다. 지면에 대해 접근 속도에 비례하여 초음파 거리계측에러는 커지게 된다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 가속도센서를 사용하였다.

가속도센서의 측정값은 적분과정을 통해 속도, 위치추정을 하게 되고 초음파센서 측정값으로 각 추정치를 수정하게 된다.

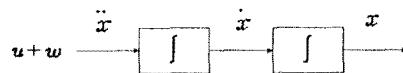


그림 1. 상태모델

Figure 1. State-space model

여기서

- $x (= x_1)$: 지면과의 거리[m]
- $\dot{x} (= x_2)$: 지면과의 거리변화[m/s]
- u : 가속도 입력(측정값)
- w : 가속도 노이즈

위 모델을 상태방정식으로 변환하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} a_m + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} a_n \quad (2)$$

여기서 a_n : Acceleration noise ($a_n \equiv N(0, \sigma_n^2)$)
 a_m : Acceleration input(measurement)

이산시간 상태모델은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\Delta t^2}{2} \\ \Delta t \end{bmatrix} a_m + \begin{bmatrix} \frac{\Delta t^2}{2} \\ \Delta t \end{bmatrix} a_n \quad (3)$$

여기서

Δt : sampling time

초음파센서에 의해 위치측정이 이루어지므로 칼만필터의 측정방정식은 다음과 같다.

$$z = [1 \ 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + a_{mm} \quad (4)$$

여기서

z : Ultra-sonic sensor measurement
 a_{mm} : Ultra-sonic sensor measurement noise

시스템 노이즈 Covariance Matrix는 다음과 같다.

$$Q_k = E[w_k w_k^T] = \begin{bmatrix} \frac{\Delta t^4}{4} & \frac{\Delta t^3}{2} \\ \frac{\Delta t^3}{2} & \Delta t^2 \end{bmatrix} \alpha_n^2 \quad (5)$$

여기서

w_k : process noise input matrix

계측 노이즈 Covariance Matrix는 다음과 같다.

$$R_k = E[v_k v_k^T] = \alpha_m^2 \quad (6)$$

여기서

v_k : measurement noise input matrix

3. 실험

3.1 실험 구성

UAV의 이착륙을 모의 실험하기 위해서 그림 2와 같은 모의실험 장비를 구성하였다. 중력의 영향을 받지 않도록 중력에 수직하게 센서보드의 이동이 이루어지며 스테핑모터로 구동하였다.

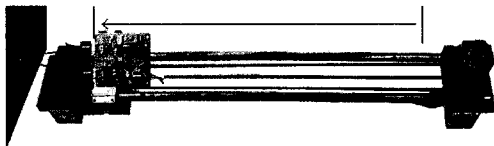


그림 2. 1축 이동시스템
 Figure 2. 1-axis moving system

초기 거리는 78cm이고 22cm까지 거리가 줄어드는 방향으로 가속도프로파일을 따라 이동하게 된다.

실험에 사용된 가속도 노이즈 값과 초음파 노이즈 값은 각각 0.36 m/s^2 와 0.01m 이다. 이 값은 정지 상태에서의 100개 샘플에 대한 표준 편차이다.

가속도 계측은 1ms주기로 하고 20개의 샘플 값을 평균을 하여 20ms마다 저장한다. 초음파 거리계측은 20ms주기로 저장한다. 저장된 계측 값을 Matlab을 이용하여 제안된 칼만 필터의 각 제어입력과 계측 값으로 두어 검증하였다.

3.2 실험 결과

가속도프로파일대로 움직이면서 계측된 가속도센서 값을 함께 나타냈다.

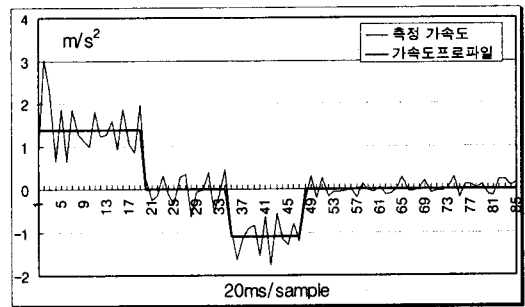


그림 3. 가속도 프로파일과 가속도 계측값
 Figure 3. Acceleration profile and acceleration sensor measurement

정지 상태에서의 가속도 계측 노이즈 보다 움직일 때 가속도가 변하는 부분에서 몇 배 큰 가속도 노이즈를 보이고 있는데 스테핑모터의 구동 시 진동과 가속도 센서의 응답 지연이 원인으로 예상된다. 이 노이즈를 평가하는 것은 어려우므로 정지 상태의 계측 노이즈 값을 노이즈 모델로 사용하였다.

Matlab을 이용한 속도에 대한 추정결과는 다음과 같다.

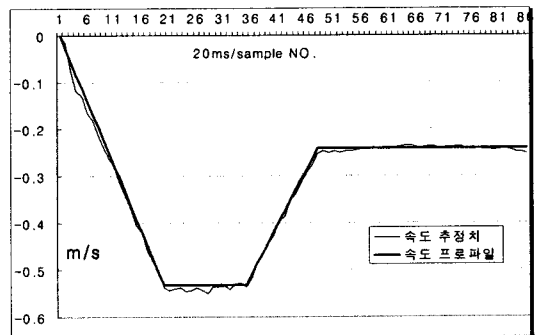


그림 4. 속도프로파일과 속도추정
 Figure 4. Velocity profile and velocity estimation

가속도가 변하는 부분에서 속도 추정이 속도프로파일에 대해 차이를 보이다가 점차 수렴함을 볼 수 있다.

위치 추정결과는 다음과 같다.

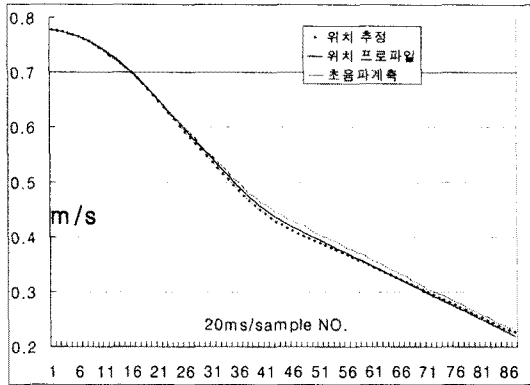


그림 5. 위치프로파일, 초음파 위치측정, 위치 추정
Figure 5. Position profile, Ultra-sonic sensor distance measurement and position estimation

프로파일위치와 추정위치차이에 대한 표준편차와 peak error는 각각 4.3mm, 7.4mm 이었고, 프로파일위치와 초음파 센서 데이터 차이에 대한 peak error는 18.2mm 이었다.

초음파계측 값은 속도가 높은 구간에 비례하여 위치프로파일과 차이가 커짐을 볼 수 있다. 초음파센서만의 단점을 가속도센서로 보완함으로써 위치 보상된 결과를 얻었음을 볼 수 있다. 더 좋은 결과를 얻기 위해서는 동적인 상태에서 가속도 노이즈 모델을 얻어야 할 것이다. 그리고 실제 적용에 있어 칼만 필터의 계산량과 센서 계측에 적합한 MPU(Micro Processing Unit)를 사용하여 구동되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Roudolf E. Kalman, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems", Transaction of the ASME-Journal of Basic Engineering, pp.35-45, 1960
- [2] Arthur Gelb, "Applied Optimal Estimation", M. I. T. Press, pp.116-119, 1974.
- [3] Robert Grover Brown, Patrick Y.C. Hwang, "Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering", JOHN WILEY&SONS, pp.402-413, 1997
- [4] Mohinder S. Grewal, Angus P. Andrews, "Kalman Filtering Theory and Practice Using MATLAB", JOHN WILEY&SONS, 2001
- [5] Maybeck, "Stochastic Models, Estimation, and Control, Volume 1, 2", Academic Press Inc.