

계단 주파수 레이더와 점 표적을 이용한 자기 측위 기법

김종희*, 남현수*, 최인식*

*한남대학교 전기전자공학과

교신저자: 최인식(recog@hnu.kr)

Self-positioning method using Stepped-frequency Radar and Point target

Jong-Hee Kim*, In-Sik Choi*, Hyeon-Su Nam*

*Dept. of Electronic Eng., Hannam University

요약

본 논문에서는 GPS(Global Positioning System)-denied 환경에서 UAV(Unmanned Aerial Vehicles)의 실시간 자기 측위를 위한 연구를 진행하였다. UAV의 자기 측위를 위해서는 계단 주파수(steped-frequency) 레이더를 이용해 4개의 점 표적과의 거리를 측정한다. 레이더와 점 표적 간의 거리와 4개의 점 표적의 위치 정보를 이용하여 삼각측량법과 MMSE(Minimum Mean Square Error)로 UAV의 추정 위치를 획득할 수 있다. 추정된 UAV의 위치를 실제 UAV의 위치와 비교한 결과 잘 일치함을 알 수 있었다.

I. 서론

UAV와 드론의 정확한 위치 추정은 군용과 민간에서 매우 중요하게 작용한다. 대표적인 위치 측위 시스템인 GPS는 UAV와 드론의 위치 데이터를 얻기 위해 가장 많이 사용되고 있지만[1], GPS 신호는 방해 공작이나 건물 내부일 경우에는 정확한 위치 측위에 한계를 가지고 있다. 이러한 한계로 드론이 지하 공간 또는 실내에서 임무를 수행하는 경우에 GPS 신호를 수신할 수 없으므로 자기 측위가 가능한 실시간 위치 측위 시스템이 필요하게 된다. 2차원상에서 삼각측량법을 이용해 자기 측위를 수행하는 연구는 활발히 진행되었다[2]. 본 논문에서는 계단 주파수 레이더와 점 표적을 이용해 레이더와 표적 간의 거리를 추출한다. 추출된 거리 정보를 MMSE 추정기를 통해 3차원 공간에서 UAV 또는 드론의 위치 데이터를 결정한다.

II. 본론

그림 1을 보면 알 수 있듯이 3차원 공간에서 자기 측위 기법을 제안하기 위해 우리는 레이더와 점 표적을 이용하였다. 레이더는 UAV나 드론에 장착되어 레이더와 대상 간의 거리(d_1, d_2, d_3, d_4)를 측정한다. 이때, 우리는 4개의 점 표적의 위치는 이미 알고 있는 상태라고 가정한다. 레이더를 이용해 거리 정보를 추출한 후 삼각측량법과 MMSE를 적용하여 UAV나 드론의 위치인 (x, y, z) 를 결정한다. 식 (1)을 삼각측량법을 이용해 표적과의 거리를 계산한 식이다.

$$\begin{aligned} d_1^2 &= (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 \\ d_2^2 &= (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 \\ d_3^2 &= (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 \\ d_4^2 &= (x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2 \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)의 4개의 식을 서로 뺀 후에 그 결과를 행렬로 변환하면 식 (2)를 얻을 수 있다.

$$X * t = b \quad (2)$$

여기서, X, b, t 는 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(x_1 - x_2) & 2(x_1 - x_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 2(x_3 - x_4) & 2(x_3 - x_4) & 2(x_3 - x_4) \end{bmatrix}_{6 \times 3} \\ b &= \begin{bmatrix} (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) + (z_1^2 - z_2^2) + (d_2^2 - d_1^2) \\ \vdots \\ (x_3^2 - x_4^2) + (y_3^2 - y_4^2) + (z_3^2 - z_4^2) + (d_4^2 - d_3^2) \end{bmatrix}_{6 \times 1} \\ t &= \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{3 \times 1} \end{aligned} \quad (3)$$

마지막으로, UAV의 위치는 식 (4)의 MMSE 식을 사용하여 계산하였다.

$$\hat{t} = (X^T X)^{-1} X^T b \quad (4)$$

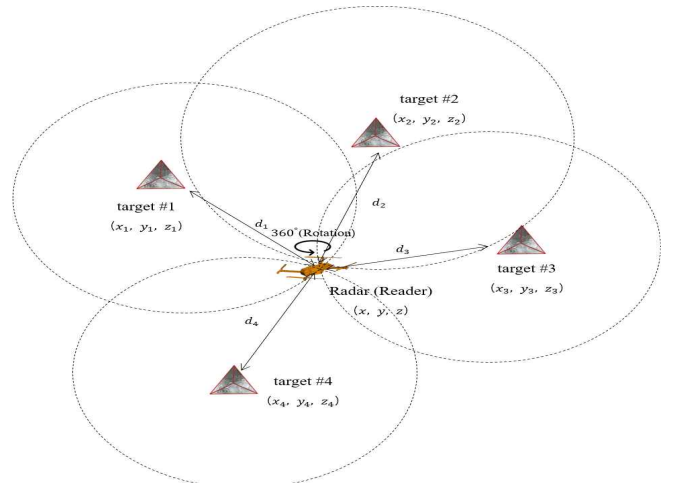


그림 1. 제안하는 자기 측위 기법 개념도

제안하는 자기 측위 기법을 검증하기 위해 본 논문에서는 4개의 산란점으로 구성된 임의의 데이터로 시뮬레이션을 진행하였다. 4개의 산란점의 좌표와 진폭은 표 1에 나와 있다.

표 1. X-대역 레이더의 제원

Target number	Position[m]	Amplitude
1	(25,10,15)	3
2	(15,20,5)	2
3	(25,30,0)	3
4	(25,20,0)	3

임의로 설정한 레이더의 실제 위치는 직각좌표계에서 (5, 5, 10)에 위치되어 있다. MMSE로 레이더의 위치를 추정하기 위해 SNR이 25dB인 환경에서 20번의 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2는 MMSE를 사용해 추정된 UAV의 위치를 보여준다. 이 결과를 통해 추정된 20개의 지점이 레이더의 실제 위치와 매우 잘 일치함을 알 수 있다.

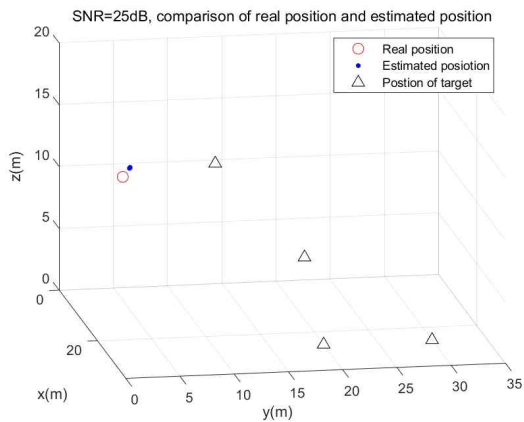


그림 2. 추정된 UAV 좌표값, SNR = 25dB

III. 결론

본 논문에서는 계단 주파수 레이더와 4개의 점 표적을 이용하여 새로운 3차원 자기 측위 시스템을 제안하였다. MMSE 추정기는 레이더로 측정된 거리를 사용하여 UAV의 최종 위치를 계산하였다. 이를 통해 MMSE 추정기를 이용한 자기 측위 기법이 잘 동작함을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R111A3043120).

참고 문헌

- [1] Yong-Jin Joo, Yu-Shin Ahn, "Enhancement of UAV-based Spatial Positioning Using the Triangular Center Method with Multiple GPS", Journal of the Korean Society of Surveying, Vol. 37, No. 5, pp. 379-388, Oct. 2019.
- [2] Jin-Ho You, Young-Goo Kwon, "Localization algorithm by using location error compensation through topology constructions", Journal of the Korea institute of information and Communitaion Engineering, Vol. 18, No. 9, pp. 2243-2250, Sep. 2024..