

UAV의 충돌 회피를 위한 반발력 모델에 따른 회피 성능 분석

민세웅, 남해운

한양대학교

{sewoong, hnam}@hanyang.ac.kr

Analysis of collision avoidance performance according to the repulsive force model for collision avoidance of UAV

Sewoong Min, Haewoon Nam

Hanyang Univ.

요약

본 논문은 UAV의 장애물과의 충돌을 방지하기 위해 주로 사용되는 방법 중 하나인 가상의 중력장 (Artificial Potential Field) 방식을 사용하여 장애물과 UAV 간의 충돌을 방지함에 있어서 어떤 반발력 모델을 사용하느냐에 따라 충돌 회피 성능이 달라지는 문제를 다루고자 한다. 본 논문에서는 가상의 중력장 방식에서 많이 사용되는 두 가지 반발력 모델에 따른 충돌 회피 성능을 비교하였다. 이를 통해 가상의 중력장을 연구하는 다른 연구자들에게 반발력 모델을 결정함에 있어 어떠한 모델을 쓰는 것이 좋은지에 대한 통찰력을 제공 할 수 있길 바란다.

1. 서론

2016년부터 2019년까지 민수용 드론 시장 규모가 연평균 약 3배씩 성장하고 있다. 국토교통부 발표에 따르면 2022년에는 세계 드론 시장의 규모는 43조 2천억으로 성장할 것으로 전망된다. 이처럼 커지는 시장에 비해 하여 드론을 조종하는 사람의 수가 폭발적으로 늘고 있다. 이에 따라 드론에 의한 사고사태가 늘어나는 것은 굉장히 당연한 인과 관계이다. 드론 안전실태 조사 보고서에 따르면 중량 0.6kg의 드론이 7.5m 상공에서 추락하여 머리와 부딪칠 경우 충격력은 400N(40.81kg)에 달하는 것으로 실험 결과 보고 되었다[1]. 또한 추락하지 않아도 사람과 충돌하여 발생한 사고도 당사자에게 심각한 부상을 남기며 사고 횟수 또한 매년 증가하고 있다. 드론의 추락의 원인도 장애물과의 충돌이 일정 부분을 차지하고 있기 때문에 위와 같은 사례를 통해 드론의 충돌을 방지하는 기술이 필요한 것은 자명해 보인다.

드론과 장애물과의 충돌을 방지하기 위한 연구는 꾸준히 되어 왔다. 그에 따라 다양한 방법으로 충돌을 방지하는 기술들이 개발되었다. 장애물과의 충돌 회피하는 방법은 크게 4가지로 나눌 수 있다. 모델 예측제어(MPC: Model Predictive Control) 방식, 격자구조 접근 방식(Gridding approach), 기하학적인 접근방식(Geometric method), 가상의 중력장 방식 등이다[2-4]. 모델 예측제어 방식은 연산량이 많고 복잡도가 높아 실시간성이 떨어지나 장애물을 회피하고 목적지를 향한 경로를 생성함에 있어서 좋은 성능을 내는 경향이 있다. 다만 높은 복잡도로 장애물이 많은 동적인 환경에서 빠른속도의 드론을 제어하는데 한계가 있다. 격자구조 접근 방식은 지도가 존재하는 경우 많이 사용되지만 실환경에서는 지도가 없는 경우가 대부분이므로 지도가 없는 동적인 환경에서는 잘 사용되지 않는다. 기하학적인 접근방식은 연산의 복잡도가 낮고 다양한 상황에서 쉽게 적용 가능하나 다량의 장애물을 회피하는데 있어서 가상의 중력장 방식에 비해 충돌 회피 성능이 떨어지는 경향이 있다.

가상의 중력장 방식은 연산의 복잡도가 낮아 실시간 제어를 하기 적합

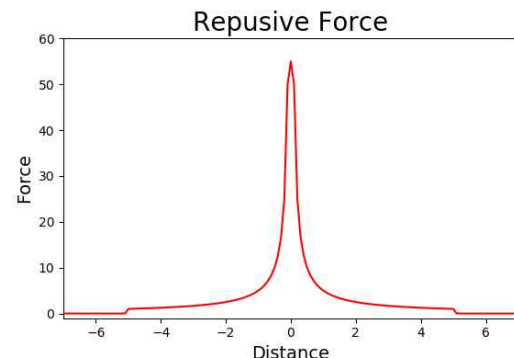


그림 1. 드론과 장애물의 상대위치에 따른 반발력의 크기

하고, 간단한 알고리즘으로 다양한 복잡한 상황들에 대해 쉽게 대처 가능하다는 장점을 통해 많이 사용되고 있다. 가상의 중력장 방식은 목적지 방향으로 가상의 끌어당기는 힘과 장애물들과는 거리에 따라 충돌을 방지하기 위해 밀어내는 힘으로 구성된다. 이때 장애물과 멀어지려는 반발력의 모델은 그림 1처럼 가까워질수록 급격히 커져서 충돌을 방지하게 된다. 이때 x축의 거리 값은 드론과 장애물간의 거리이며 힘의 방향은 장애물과 반대 방향으로 구성된다. 다만 이와 같은 반발력 모델은 그림 1과 같은 형태만 될 수 있다면 다양한 방식으로 구현 가능하다. 현재 출판된 논문들에서는 반비례 형태, 지수함수 형태, 정규분포 형태 등이 사용되었다[4-6].

본 논문에서는 이처럼 다른 반발력 모델을 사용하였을 때, 충돌 회피에 있어서 어떤 성능의 차이가 있는지에 대해 분석하였다.

II. 본론

서론에서 언급한 것과 같이 반발력 모델은 다양하게 디자인 가능하지만 본 논문에서는 많이 사용되고 있는 반발력의 형태인 반비례 형태와 지수함수 형태에 대한 회피 성능을 분석한다. 드론의 위치를 p_d , 장애물의 위

치를 p_o 라 할 때, 장애물과 드론의 상대 위치를 나타내는 \vec{R} 는 다음과 같다.

$$\vec{R} = p_d - p_o \quad (1)$$

이때 \vec{R} 을 사용하여 반비례 형태의 모델과 지수함수 형태의 모델을 만들 수 있다. 반비례 형태의 반발력 모델 \vec{F}_i 다음과 같다.

$$\vec{F}_i = \frac{k_i r}{\|\vec{R}\|} \hat{R}, \text{ if } \|\vec{R}\| < |r| \quad (2)$$

$$\vec{F}_i = \frac{k_i r^2}{\|\vec{R}\|^2} \hat{R}, \text{ if } \|\vec{R}\| < |r| \quad (3)$$

여기서 k_i 는 반발력 계수이고, r 은 반발력을 계산하기 위한 안전거리다. 식 2와 같이 반비례하도록 모델링 하여 사용하기도 하고 거리에 따른 반발력의 증가를 위해 식 3과 같이 반비례 함수를 제공하여 사용하기도 한다.

지수함수 형태의 모델 \vec{F}_e 는 다음과 같다.

$$\vec{F}_e = k_e \exp\left(\frac{r}{\|\vec{R}\|}\right) \hat{R}, \text{ if } \|\vec{R}\| < |r| \quad (4)$$

$$\vec{F}_e = \frac{k_e}{\exp(\|\vec{R}\|) - \exp(\|\vec{R}\|_{\min})} \hat{R}, \text{ if } \|\vec{R}\| < |r| \quad (5)$$

여기서 k_e 는 반발력 계수이고, r 은 반발력을 계산하기 위한 안전거리다. 논문에 따라서는 식 5와 같은 형태로 사용하기도 한다. 이때 지수함수 형태의 \vec{F}_e 는 반비례 형태의 \vec{F}_i 에 비해 반발력이 급하게 커진다. 이것은 드론의 비행안정성 및 충돌회피 성능에 영향을 미친다.

두 반발력 모델의 충돌회피 성능을 정확히 비교하기 위해서는 다양한 시나리오에 대한 결과값을 보여야 하지만 본 논문에서는 지면의 부족으로 두 반발력의 차이를 명확하게 보여주는 하나의 시나리오에 대해서만 비교한다. 이 시나리오는 드론이 특정 방향으로 비행하고 있을 때, 드론의 비행 방향에서 드론을 향해 장애물이 드론과 같은 속력으로 다가오는 상황에 대해 시뮬레이션 하였다. 드론은 고도 5m에서 y축으로 -5에서 5로 이동한 뒤 5에서 -5로 되돌아온다. 이때 -5에서 5로 이동하면서 드론을 향해 돌진하는 장애물을 0 지점에서 마주치며, 반대로 이동할 때도 0 지점에서 드론을 향해 돌진하는 장애물과 만난다.

그림 2는 식 3과 같은 반비례 형태의 반발력 모델을 사용했을 때 위 시나리오에 따른 드론의 x, y, z 축에 대한 시간에 따른 위치 변화를 나타낸다. 마찬가지로 그림 3은 식 4와 같은 지수함수 형태의 반발력 모델을 사용하였을 때 위 시나리오에 따른 드론의 x, y, z 축에 대한 시간에 따른 위치변화를 나타낸다.

그림 2에서 드론은 10초쯤과 22초 쯤에서 장애물을 만남에 따라 x축과 z축으로 이동경로를 틀어 비행하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 반발력의 증가량이 지수함수 모델에 비해 급격하지 않음으로 부드럽게 진행 된 것을 볼 수 있다. 다만 작은 반발력에 따라 경로의 변화가 미미하고 장애물에 근접한 경로로 이동하여 충돌 가능성이 높아진다.

그에 반해 그림 3에서 드론은 3초쯤과 18초 쯤에서 장애물을 만났을 때 급격하게 커지는 반발력에 따라 뒤로 밀려나게 되고 다시 작아진 반발력에 의해 앞뒤로 여러차례 진동하는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 목표지점의 도달시간은 길어지고 비행안정성은 떨어지게 된다. 다만 큰힘으로 밀어냄에 따라 경로의 변화가 크고 반비례 형태보다 장애물과 먼 경로로 이동하여 충돌 가능성은 낮았다.

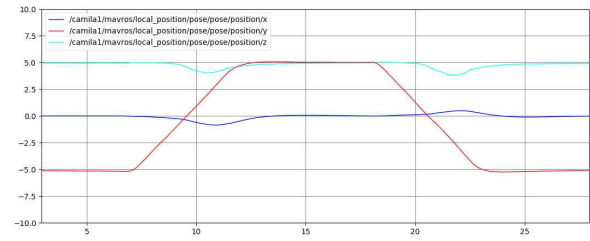


그림 2. 반비례 형태의 반발력 모델을 사용한 장애물 회피

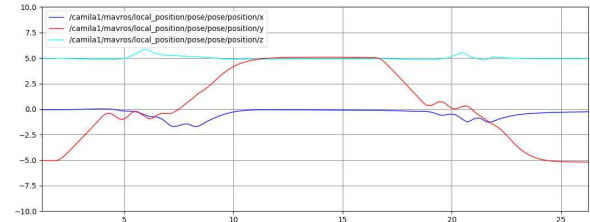


그림 3. 지수함수 형태의 반발력 모델을 사용한 장애물 회피

III. 결론

가상의 중력장 방식으로 장애물과의 충돌을 회피할 때 반발력의 모델에 따라 드론이 장애물과 마주하였을 때 비행하는 방식이 달라져 충돌성능 및 비행 안정성에 영향을 주는 것을 확인하였다. 반비례 형태의 반발력 모델은 비행안정성은 좋으나 지수함수에 비해 장애물과의 충돌 위험이 높았고, 지수함수 형태의 반발력 모델은 반비례 모델에 비해 충돌 위험성은 낮았지만 비행 안정성이 떨어졌다. 비행 안정성과 충돌 위험성은 일부 트레이드오프한 관계가 있으므로 적용하는 환경에 따라 반발력 모델을 정하고 파라미터의 파인튜닝이 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 글로벌핵심인재양성지원사업(2020-0-01513)의 지원을 받아 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 드론 안전실태 조사 보고서(2017.6) - 한국소비자원, (<https://www.kca.go.kr/smartconsumer/board/download.do?menukey=7301&fno=10019855&bid=00000146&did=1002540322>)
- [2] S. H. Arul and D. Manocha, "Dcad: Decentralized collision avoidance with dynamics constraints for agile quadrotor swarms," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 5, no. 2, pp. 1191–1198, 2020.
- [3] Seo, Y. Kim, S. Kim, and A. Tsourdos, "Collision avoidance strategies for unmanned aerial vehicles in formation flight," *IEEE Transactions on aerospace and electronic systems*, vol. 53, no. 6, pp. 2718–2734, 2017.
- [4] Du, X. Zhang, and Z. Nie, "A real-time collision avoidance strategy in dynamic airspace based on dynamic artificial potentialfield algorithm," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 169 469–169 479, 2019.
- [5] X. Zhu, Y. Liang, and M. Yan, "A flexible collision avoidance strategy for the formation of multiple unmanned aerial vehicles," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 140 743–140 754, 2019.
- [6] B. Lu, G. Li, H. Yu, H. Wang, J. Guo, D. Cao, and H. He, "Adap-tive potential field-based path planning for complex autonomousdriving scenarios," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 225 294–225 305, 2020.