

컨벡스 최적화를 이용한 무인이동체의 경로 추종 유도

이선호^{1*}, 이창훈²한국과학기술원(KAIST)^{1,2}

Trajectory Following Guidance for Unmanned Vehicle Using Convex Optimization

Sun-Ho Lee^{1*}, Chang-Hun Lee²

Key Words : Unmanned Vehicle(무인이동체), Trajectory Following(궤적 추종 유도), Model Predictive Control(모델 예측 제어), Successive Linearization(연속 선형화), Convex Optimization(컨벡스 최적화)

서 론

무인이동체에 대한 연구가 최근에 세계적으로 활발하게 진행되고 있다. 미국을 선두로 하여 중국, 일본 등 다양한 나라에서 관심을 증대하고 있다. 대표적인 결과물 중 하나인 리퍼는 미국에 의해 군사적 목적으로 개발되었다. 이러한 추세에 발맞추어 국내에서도 무인이동체에 대한 연구를 활발하게 진행하고 있다.

무인이동체를 효과적으로 운용하기 위해선 새로운 타입의 유도 알고리즘을 설계하여야 한다. 무인이동체와 같은 자율 시스템의 유도제어는 비선형성과 시변성이 강하다. 또한 기존의 방법들은 구속 조건을 다룰 수 없다는 한계가 존재하기 때문에 이러한 점을 해결하기 위해 새로운 궤적 추종 유도를 제안하고자 한다.

새롭게 개발한 유도 알고리즘은 가상의 목표점을 일정한 거리에 두고 이를 따라가는 유도 기법⁽¹⁾을 기반으로 한 궤적 추종 유도이다. 궤적의 미래를 예측하여 컨벡스 최적화를 통해 최적의 미래 상태 변수⁽²⁾을 얻고 이를 일정 단계만큼 진행하고 반복하는 알고리즘을 구현하였다.

본 론

기본적인 무인이동체의 동역학은 모델은 아래와 같이 구성이 된다.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= V \cos \psi \\ \dot{y} &= V \sin \psi \\ \dot{\psi} &= \frac{a}{V}\end{aligned}\quad (1)$$

x, y, ψ 3개의 상태 변수로 이루어져 있고 제어

입력은 a 로서 $\dot{\psi}$ 에 입력된다. 수식 (1)로 묘사된 무인이동체 전체 동역학 모델을 좌표축에 표현하면 그림 Fig. 1과 같이 나타나게 된다.

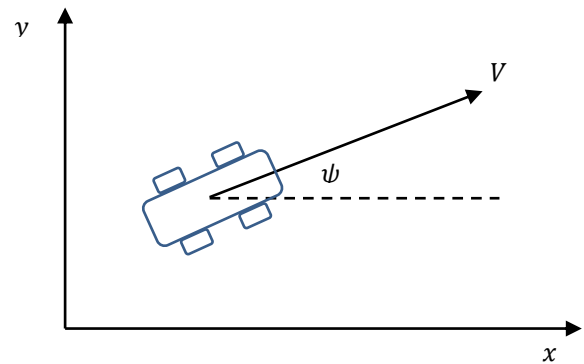


Fig. 1. Unmanned Vecicle and XY Coordinate system

속도 V 의 크기는 항상 일정한 값으로 설정하였다. 제어 입력 a 는 무인이동체의 방향 ψ 를 바꾸어 주지만 속도의 크기를 변화시키지 않는다. 이와 같은 동역학 모델에서 궤적을 잘 추적하는 유도 기법을 제안하고자 한다.

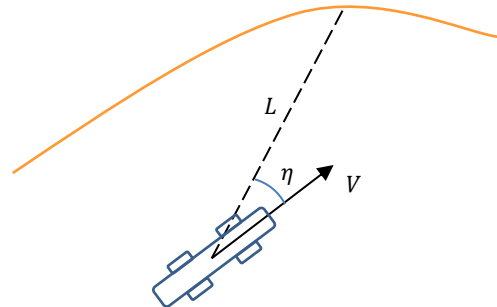


Fig. 2. Unmanned Vehicle and Virtual Target

Fig. 2와 같이 무인이동체로부터 거리 L 만큼 떨어진

곳에 존재하는 기준 궤적에 가상의 목표점을 설정한다. 시스템을 최적의 결과로 유도하기 위해 비용 함수를 가상 목표점과 무인이동체 속도 사이의 리드각 η , 제어 입력인 u 로 구성하였다. η 를 최소화하는 방향으로 최적화가 이루어지면 시스템이 궤적을 잘 추종하게 된다.

$$J = \sum \gamma \Delta t \quad (2)$$

$$w_\eta \eta^2 + w_u u_v^2 + w_\delta \delta^T \delta \leq \gamma \quad (3)$$

$$|u_v| < u_{max}$$

$$z_v(0) = z_0$$

$$u_v(0) = u_0$$

$$|z_v - z_i| < \delta$$

수식 (3)은 시야각, 제어 입력과 신뢰 영역을 비용 함수에 대한 부등식 제한 조건으로 나타낸 것과 제어 입력의 물리적 한계, 초기 조건, 신뢰 영역을 수식화한 것이다.

식 (2)~(3)에서 진행한 컨벡스 최적화 기법을 한번만 적용하지 않고 successive linearization을 통해서 이전에 얻어진 해를 통해서 더 최적화된 해를 얻는 iteration 알고리즘을 적용하였다. (2)~(3)에서 최적의 상태 변수를 도출하면 z_i 에 저장하고 다음 최적화를 할 때 이 배열을 사용하여 다시 z_v 최적화를 시행한다.

위의 과정을 통해 구해진 최적의 상태 변수 배열을 N 단계까지만 진행을 하고 나머지 뒤의 배열은 새로운 최적화 과정을 할 때 z_i 로 사용하여 궤적을 추종한다.

기준 궤적이 선의 형태와 원의 형태를 가진 두 가지 경우에 대해 시뮬레이션을 진행하였다. 결과는 Fig. 3과 Fig. 4에 나타나 있다.

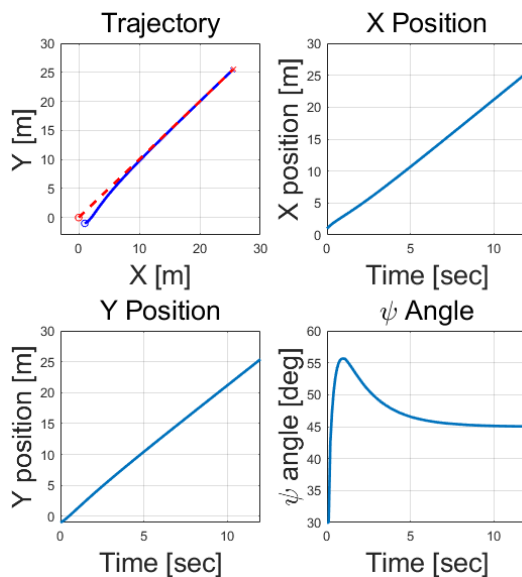


Fig. 3. Line trajectory following and state variables results

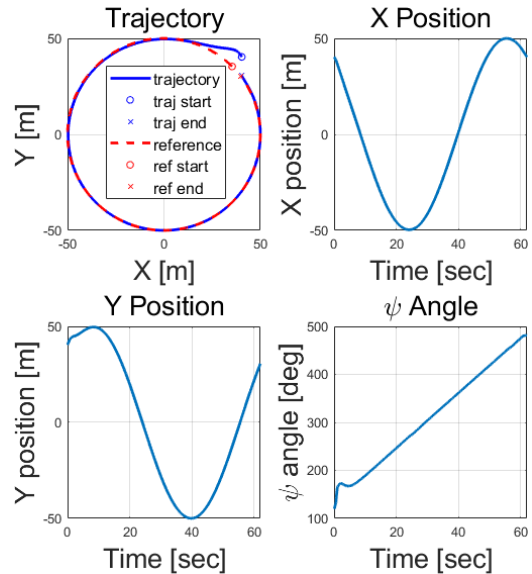


Fig. 4. Circle trajectory following and state variable results

결론

본 논문에선 새롭게 제안한 컨벡스 최적화를 이용한 경로 추정 유도를 무인이동체 동역학 모델에 적용해보았다. 가장 대표적인 두 기준 궤적인 직선과 원의 형태를 잘 따라가는 것을 확인하였다. 추후 사인 형태의 궤적을 비롯한 임의의 궤적에 대해서 잘 추적하는지 시뮬레이션을 통해 테스트할 예정이다.

후기

이 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 무인이동체 공통원천기술 개발 사업 "무인이동체 자율 유도제어 기술 개발" 과제의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2020M3C1C1A0108316111).

참고문헌

- 1) Park, S., Deyst, J., and How, J., "A new nonlinear guidance logic for trajectory tracking," AIAA guidance, navigation, and control conference and exhibit, 2004, pp. 4900.
- 2) Liu, X., Shen, Z., and Lu, P., "Entry trajectory optimization by second-order cone programming," Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2016, pp. 227-241.