

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2025.33.1.064>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

다중 UAV의 표적 추적을 위한 협력 제어

김필은*

Cooperative Control of Multiple UAV for a Target Tracking

Pileun Kim*

ABSTRACT

With the advancement of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology and improvements, multi-UAV systems have gained significant attention in various application domains. Target tracking using multiple UAVs is a crucial research topic in military surveillance, disaster response, environmental monitoring, logistics, and security. This paper proposes a vector field-based cooperative control technique for multi-UAV target tracking. The proposed approach generates roll angle commands to maintain a constant distance from the target, ensuring both mission efficiency and safety. Additionally, velocity control commands are designed to maintain a constant phase angle between UAVs, facilitating multiple viewpoints and collision avoidance. The effectiveness of the control commands is validated through numerical simulations for both stationary and moving targets. The proposed guidance strategy can be extended to cooperative control applications involving a large number of ground robots as well as UAVs.

Key Words : UAV(무인 항공기), Vector Field(벡터장), Lyapunov Stability(리아푸노프 안정성), Cooperative Control(협력 제어), Target Tracking(표적 추적)

1. 서 론

최근 무인 항공기(unmanned aerial vehicle, UAV) 기술의 발전과 센서 및 통신 기술의 향상으로 인해 다중 UAV 시스템이 다양한 응용 분야에서 주목받고 있다. 특히, 다중 UAV를 활용한 표적 추적 문제는 군사 감시, 재난 대응, 환경 모니터링, 물류 및 보안 분야에서 중요한 연구 주제로 부각되고 있다. 단일 UAV를 활용한 표적 추적 시스템은 운용의 유연성과 비용

측면에서 장점이 있지만, 배터리 수명, 센서의 한계, 장애물 회피 등의 문제로 인해 실시간 추적 성능이 제한적일 수 있다. 이에 따라 다수의 UAV가 협력하여 표적을 추적하는 협력 제어 기법이 요구되고 있다.

본 논문에서는 다중 UAV의 표적 추적을 위한 벡터장 기반의 협력 제어 기법을 제안하고, 표적이 이동함에 따라 UAV 간의 효율적인 추적 성능을 달성하는 방법을 연구하였다. 항공기가 이동하는 표적을 추적하기 위해 회전 기동을 수행해야 하며, 이때 임무 조건과 안전을 위해 항공기는 표적으로부터 일정한 거리를 유지해야 한다. 일반적으로 항공기는 정상적인 회전을 수행하기 위해 롤 각을 유지하며, 이에 따라 롤 속도와 측면 속도는 0이 된다. 동시에, 표적으로부터 일정한 거리를 유지하기 위해 롤 각 명령이 생성되며, 롤 각은 거리 오차에 비례할 수 있다.

Received: 24. Jan. 2025, Revised: 04. Mar. 2025,
Accepted: 13. Mar. 2025

* 한국항공대학교 AI자율주행시스템공학과 조교수

연락처 E-mail : pkim@kau.ac.kr

연락처 주소 : 경기도 고양시 덕양구 항공대로 76 한국
항공대학교 기계관 211호

우선 운동 방정식을 2차원 평면에서 정의하고, 유도 제어 명령을 제공하기 위해 Lyapunov 안정성을 이용한 벡터장을 설계하였다. 다중 UAV가 롤 각 명령을 이용하여 이동하는 표적을 추적할 경우, UAV는 벡터장에 따라 표적 주변을 비행하게 된다. 하지만 거리와 위상 각을 제어하지 않으면 UAV 간 충돌이 발생할 수 있다. 따라서, 선행 항공기에 대해 일정한 위상 각을 유지하고, 항공기 간 충돌을 방지하기 위해 속도 명령과 항로각 명령을 생성해야 한다. 본 논문에서는 이러한 기법들에 대해 여러 가정과 수식을 통해 벡터장 기반 협력 제어 기법에 대해 논하고, 시뮬레이션을 통해 이를 검증하였다.

II. 본 론

2.1 유도 제어를 위한 벡터장 설계

본 논문에서 고려하는 UAV의 운동 방정식은 다음과 같고 항공기의 고도는 일정하다고 가정하였다. 따라서 항공기는 평면 내에서의 움직임이며 질점 모델은 기수각(heading angle)에 영향을 미치는 롤 각(roll angle)에 의해 진행된다.

$$\begin{aligned}\dot{x}_i &= v_i \cos \psi_i \\ \dot{y}_i &= v_i \sin \psi_i \\ \dot{\psi}_i &= \frac{g}{v_i} \tan \phi_i\end{aligned}\quad (1)$$

(x_i, y_i) 는 평면에서의 항공기의 위치, v_i 는 항공기의 속도, ψ_i 는 항공기의 기수각, ϕ_i 는 항공기의 롤 각, 그리고 g 는 중력가속도를 나타낸다. 여기서 아래첨자 i 는 각 항공기의 식별 번호를 의미한다. 이동하는 표적의 운동은 식 (2)의 운동 방정식으로 표현된다.

$$\begin{aligned}\dot{x}_t &= v_t \cos \psi_t \\ \dot{y}_t &= v_t \sin \psi_t\end{aligned}\quad (2)$$

(x_t, y_t) 는 평면에서의 표적의 위치, v_t 는 표적의 속도, ψ_t 는 표적의 기수각을 나타낸다. Fig. 1은 관성 기준 좌표계에서 항공기와 표적 간의 관계를 나타낸다. 항공기와 표적 간의 상대 거리는 식 (3) 방정식으로 표현된다.

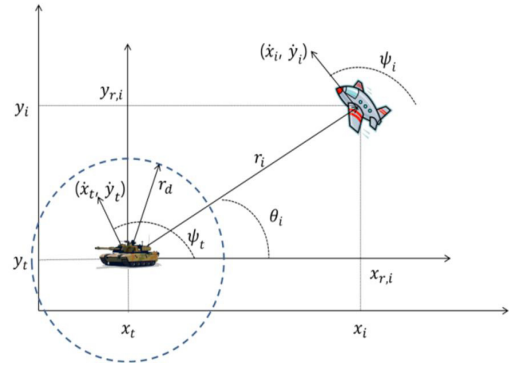


Fig. 1. Position of the aircraft and target in a plane

$$\begin{aligned}x_{r,i} &= x_i - x_t \\ y_{r,i} &= y_i - y_t \\ r_i &= \sqrt{(x_i - x_t)^2 + (y_i - y_t)^2} = \sqrt{x_{r,i}^2 + y_{r,i}^2}\end{aligned}\quad (3)$$

$(x_{r,i}, y_{r,i})$ 는 표적을 기준으로 한 항공기의 상대 위치이며, r_i 는 항공기와 표적 간의 수평 거리이다. 여기서, r_i 는 항상 측정 가능하다고 가정한다.

2.2 무인 항공기의 벡터장 유도 제어

Lyapunov 함수를 다음과 같이 정의하며, 이 함수는 항공기가 이동하는 표적을 추적하고, 표적과 일정한 거리를 유지할 수 있게 한다.

$$V_{D,i}(x_i, y_i) = (r_i^2 - r_d^2)^2 \geq 0 \quad (4)$$

r_d 는 표적으로부터 원하는 위치이며 식 (4)를 미분하면

$$\begin{aligned}\dot{V}_{D,i} &= 2(x_{r,i}^2 + y_{r,i}^2 - r_d^2) \cdot (2x_{r,i}\dot{x}_{r,i} + 2y_{r,i}\dot{y}_{r,i}) \\ &= 4x_{r,i}\dot{x}_{r,i}(x_{r,i}^2 - r_d^2) + 4y_{r,i}\dot{y}_{r,i}(y_{r,i}^2 - r_d^2)\end{aligned}\quad (5)$$

식 (5)와 같으며 $\dot{x}_{r,i}$ 와 $\dot{y}_{r,i}$ 를 식 (6)과 같이 정의하자.

$$\begin{aligned}\dot{x}_{r,i} &= -\frac{v_i}{r_i(r_i^2 + r_d^2)}[x_{r,i}(r_i^2 - r_d^2) + y_{r,i}(2r_i r_d)] \\ \dot{y}_{r,i} &= -\frac{v_i}{r_i(r_i^2 + r_d^2)}[y_{r,i}(r_i^2 - r_d^2) + x_{r,i}(2r_i r_d)]\end{aligned}\quad (6)$$

그러면

$$\begin{aligned}
\dot{x}_{r,i}^2 + \dot{y}_{r,i}^2 &= v_i^2 \\
&= \frac{v_i^2}{r_i^2(r_i^2 + r_d^2)^2} [(x_{r,i}^2 + y_{r,i}^2) \{ (r_i^2 - r_d^2)^2 + 4r_i^2 r_d^2 \}] \\
&= \frac{v_i^2}{r_i^2(r_i^2 + r_d^2)^2} [r_i^2 \{ (r_i^2 + r_d^2)^2 \}] \\
&= \frac{v_i^2}{(r_i^2 + r_d^2)^2} (r_i^2 + r_d^2)^2 \quad (7)
\end{aligned}$$

$\dot{x}_{r,i}$ 와 $\dot{y}_{r,i}$ 는 각각 x방향과 y방향의 상대속도이다 (Eq. 7). 그러면 $\dot{x}_{r,i}$ 와 $\dot{y}_{r,i}$ 를 극좌표계로 표시해보면 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned}
\dot{r} &= \frac{x_{r,i}\dot{x}_{r,i} + y_{r,i}\dot{y}_{r,i}}{\sqrt{x_{r,i}^2 + y_{r,i}^2}} \\
&= \frac{v_i(x_{r,i}^2 + y_{r,i}^2)(r_i^2 - r_d^2)}{r_i(r_i^2 + r_d^2)\sqrt{x_{r,i}^2 + y_{r,i}^2}} = \frac{v_i(r_i^2 - r_d^2)}{(r_i^2 + r_d^2)} \\
\dot{\theta} &= \frac{d}{dt}(\tan^{-1} \frac{y_{r,i}}{x_{r,i}}) = \frac{1}{1 + (\frac{y_{r,i}}{x_{r,i}})^2} \cdot \frac{d}{dt}(\frac{y_{r,i}}{x_{r,i}}) \\
&= \frac{x_{r,i}^2}{x_{r,i}^2 + y_{r,i}^2} \cdot \frac{\dot{y}_{r,i}x_{r,i} - y_{r,i}\dot{x}_{r,i}}{x_{r,i}^2} \\
&= -\frac{v_i}{r_i(r_i^2 + r_d^2)} \cdot \frac{2r_i r_d (x_{r,i}^2 + y_{r,i}^2)}{x_{r,i}^2 + y_{r,i}^2} = -\frac{2r_d v_i}{r_i^2 + r_d^2} \quad (8)
\end{aligned}$$

항공기가 표적에 접근할 때, r_i 는 r_d 로 수렴하므로 위의 식에서 \dot{r} 은 0이 되고 $\dot{\theta}$ 는 $-\frac{v_i}{r_d}$ 가 되며 결과적으로 균일한 원운동을 하게 된다. 위에서 Lyapunov 함수를 미분한 식에 정의했던 $\dot{x}_{r,i}$ 와 $\dot{y}_{r,i}$ 를 대입하면 식 (9)와 같이 $\dot{V}_{D,i}$ 가 0 이하로 떨어지기 때문에 Lyapunov 함수는 안정적이라고 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
\dot{V}_{D,i} &= 4(r_i^2 - r_d^2)(x_{r,i}\dot{x}_{r,i} + y_{r,i}\dot{y}_{r,i}) \\
&= -\frac{4v_i(r_i^2 - r_d^2)}{r_i(r_i^2 + r_d^2)} [(x_{r,i}^2 + y_{r,i}^2)(r_i^2 - r_d^2)] \\
&= -\frac{4v_i r_i (r_i^2 - r_d^2)}{r_i(r_i^2 + r_d^2)} \leq 0 \quad (9)
\end{aligned}$$

또한 정의했던 $\dot{x}_{r,i}$ 와 $\dot{y}_{r,i}$ 는 항공기의 속도 벡터라

고 할 수 있으며, 원하는 기수각 $\psi_{d,i}$ 은 식(10)에 의해 계산된다.

$$\begin{aligned}
\psi_{d,i} &= \tan^{-1} \frac{\dot{y}_{r,i}}{\dot{x}_{r,i}} \\
&= \tan^{-1} \left(\frac{y_{r,i}(r_i^2 - r_d^2) - x_{r,i}(2r_i r_d)}{x_{r,i}(r_i^2 - r_d^2) + y_{r,i}(2r_i r_d)} \right) \quad (10)
\end{aligned}$$

속도를 극좌표계로 표시한 위의 식 (10)을 사용하여 항공기의 원하는 롤 각도 명령을 식 (11)과 같이 정의할 수 있다.

$$\phi_{d,i} = \tan^{-1} \left[\frac{v_i}{g} \{ \dot{\psi}_{d,i} - K_\psi(\psi_i - \psi_{d,i}) \} \right] \quad (11)$$

K_ψ 는 헤딩 각도와 원하는 기수각의 차이에 대한 이득이고, $\dot{\psi}_{d,i}$ 는 원하는 기수각의 미분이다. 기수각 오차는 식 (12)와 같이 정의할 수 있다.

$$e_{\psi,i} = \psi_i - \psi_{d,i} \quad (12)$$

그러면, 원하는 롤 각과 기수각 오차식에 의해 다음의 식 (13)이 유도될 수 있으며, 이를 통해 원하는 기수각을 통해 표적을 추적할 수 있게 된다.

$$\begin{aligned}
\dot{\psi}_i &= \frac{g}{v_i} \tan \phi_{d,i} = -K_\psi(\psi_i - \psi_{d,i}) + \dot{\psi}_{d,i} \\
\dot{e}_{\psi,i} &= -K_\psi e_{\psi,i} \\
\dot{\psi}_{d,i} &= \frac{4r_d^3 v_i}{r_i^2 + r_d^2} \quad (13)
\end{aligned}$$

양의 K_ψ 는 기수각 오차가 0으로 수렴하게 한다. 즉, 이것은 항공기가 원하는 기수각으로 표적을 추적한다는 의미이다. 표적을 향한 벡터장은 원하는 기수각이 표적로부터의 상대 위치 벡터에 의해 형성되기 때문이다. 그러므로 항공기가 벡터장 위를 날 때, 항공기는 r_d 반경을 가진 표적을 중심으로 하는 원을 그리며 수렴하게 될 것이다.

2.3 속도 명령을 이용한 다중 무인 항공기의 벡터장 유도 제어

여러 항공기가 위에서 유도한 롤 각도 명령에 따라 표적을 추적할 때 위상과 거리를 제어하지 않는다면

항공기 간에 충돌할 가능성이 있다. 또한, 표적 위치와 속도의 측정 성능을 극대화하기 위해 여러 다른 관점에서 표적을 관찰할 필요가 있다. 따라서 n 대의 항공기가 $\frac{2\pi}{n}$ 의 위상 각도를 유지한다면 항공기 간의 충돌을 방지하고 여러 다른 측면에서 관찰할 수 있게 된다. 각 항공기의 위상 각도는 Fig. 2에 정의되어 있다.

여러 항공기의 위상 각도를 유지하기 위해 Lyapunov 함수를 식 (14)와 같이 정의할 수 있다.

$$V_{Pi} = [(\theta_{i-1} - \theta_i) - \theta_d]^2 \geq 0 \quad (14)$$

θ_i 는 n 번째 항공기의 위상각이고 θ_d 는 항공기 사이의 원하는 위상각이다. Lyapunov 함수식을 시간에 대해 미분하면 다음 식 (15)와 같다.

$$\dot{V}_{Pi} = 2(\theta_{i-1} - \theta_i - \theta_d)(\dot{\theta}_{i-1} - \dot{\theta}_i) \quad (15)$$

한편, K_θ 는 위상각 차이에 대한 이득일 때 $\dot{\theta}_i$ 를 식 (16)와 같이 정의하고

$$\dot{\theta}_i = \dot{\theta}_{i-1} + K_\theta(\theta_{i-1} - \theta_i - \theta_d)\left(\frac{r_d}{r_i}\right)^2 \quad (16)$$

이를 Lyapunov 함수식에 대입하면 \dot{V}_{Pi} 가 0 또는 그 이하로 가기 때문에 안정적이라고 할 수 있다(Eq. 17).

$$\dot{V}_{Pi} = -2K_\theta(\theta_{i-1} - \theta_i - \theta_d)^2\left(\frac{r_d}{r_i}\right)^2 \leq 0 \quad (17)$$

그러면 θ_{i-1} 과 $\dot{\theta}_{i-1}$ 에 대한 정보가 $(i-1)$ 번째 항공기로부터 받을 수 있다고 가정하자. 이는 이전에 배치된 항공기에서 수신한 위상각 및 속도 데이터를 사용

할 수 있으므로 충분히 가정할 만하다. 정의했던 $\dot{\theta}_i$ 식에서 $\left(\frac{r_d}{r_i}\right)^2$ 항은 표적과의 거리가 r_d 에 가까울 때 1로 수렴하게 되며, 표적과의 거리가 멀어지면 0으로 수렴하게 된다. 따라서 항공기가 표적에서 멀어지면 위상 제어 명령 대신 롤 각도 명령에 가중치를 두면 된다. 위상 제어식을 사용하여 다음과 같이 속도 제어 명령을 정의할 수 있다(Eq. 18).

$$v_{d,i} = r_i \dot{\theta}_i = r_i \dot{\theta}_{i-1} + K_\theta(\theta_{i-1} - \theta_i - \theta_d)\left(\frac{r_d^2}{r_i}\right) \quad (18)$$

결과적으로 항공기는 이 속도 제어 명령으로 원하는 기수각 식의 벡터장 방향으로 비행하게 되며, 이후 표적을 중심으로 반경이 r_d 인 원으로 수렴하게 된다.

2.4 시뮬레이션 결과

제시된 유도 제어 법칙의 성능을 검증하기 위해 6대의 항공기로 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 표적은 5m/s 속도로 이동하고, 임무 및 안전상의 이유로 표적과의 거리는 300m를 유지했다. 표적의 위치와 속도는 모든 항공기에서 측정할 수 있다고 가정했다. 롤 각도 명령은 -45° 에서 45° 로 제한되었으며, 항공기의 속도는 20m/s에서 30m/s로 제한되었다. 표적과 항공기의 이동 궤적은 동일한 평면에서 동일한 고도에서 움직인다고 가정하였다.

목표의 초기 위치는 (0,0)이고, 6대 항공기의 초기 위치는 (8,001,000), (9,001,000), (10,001,000), (11,001,000), (12,001,000), (13,001,000)m이다. 모든 항공기의 초기 기수각은 $\psi_i = 0^\circ$ 이며 표적은 y 방향($\psi_i = 90^\circ$)으로 5m/s로 이동한다고 가정하였다. 또한, 항공기는 표적으로부터 300m 거리를 유지하고, 동일한 위상각($\frac{2\pi}{n} = 60^\circ$)을 유지한다.

항공기의 속도는 20m/s에서 30m/s로, 롤 각도 명령은 -45° 에서 45° 로 제한시켰다. Fig. 3은 고정된 표적에 대한 항공기의 이동 궤적을 보여준다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이, 모든 항공기는 표적으로부터 300m 거리를 유지하고, 그 주위를 돌고 있다. Fig. 4는 이동 표적을 추적하기 위한 항공기의 이동 궤적을 보여주고 있으며 Fig. 5는 항공기 간의 위상각을 나타내고, Fig. 6

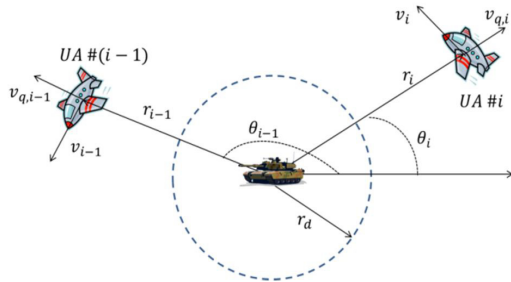


Fig. 2. Phase angles of each aircraft with respect to the target

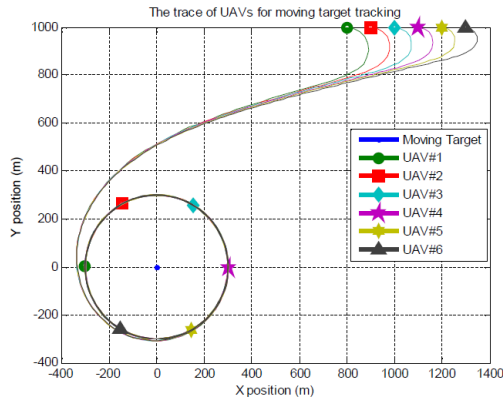


Fig. 3. Trace of UAVs for stationary target

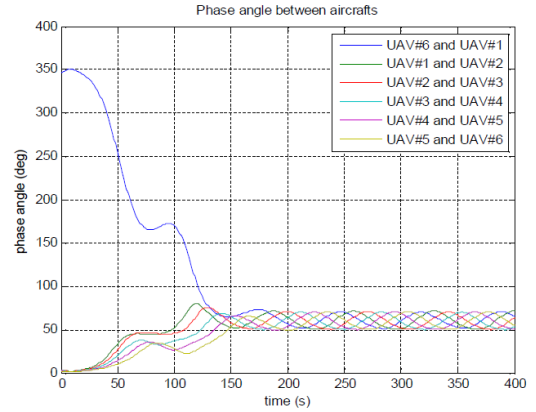


Fig. 5. Phase angle between aircrafts (straight moving target)

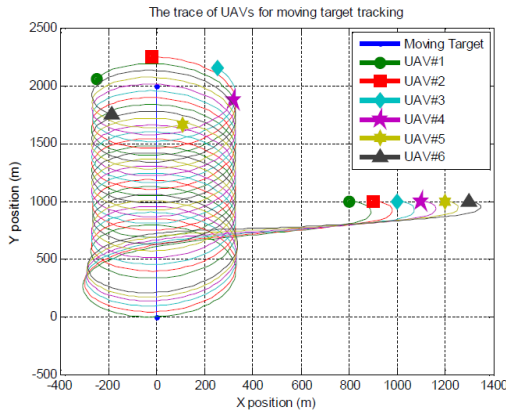


Fig. 4. Trace of UAVs for straight moving target

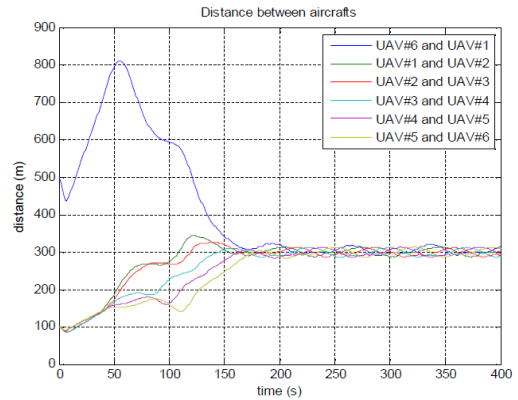


Fig. 6. Distance between aircrafts (straight moving target)

은 항공기 간의 거리를 나타낸다.

Fig. 5에서 항공기의 위상각이 60° 로 수렴하지 않지만 $60 \pm 10^\circ$ 로 안정적으로 유지된다. 즉, 6대의 항공기가 다양한 각도에서 감시하면서 움직이는 표적을 추적할 수 있다는 뜻이다.

초기에 항공기는 같은 선상에 위치해 있었으며 즉, 모든 위상각은 0이었다. 시뮬레이션을 실행한 뒤 약 180초 후에 $60 \pm 10^\circ$ 의 위상각으로 수렴하고 유지하게 된다. 위상각은 표적이 이동하기 때문에 주기적인 운동이 발생하였다. 이 오류를 최소화하려면 제어 이득에 대한 최적화가 필요하다.

이번에는 또 다른 초기 위치와 다른 패턴의 이동을 수행하는 이동 표적에 대한 시뮬레이션을 실행해 보자. 이때 4대 항공기의 초기 위치는 (500, -500), (300, -800), (-500, -500), (1,000, 1,000)m이고 표적은 y

방향($\psi_t = 90^\circ$)으로 5m/s로 이동하며 사분원 원운동을 한다고 하자. 이때 Fig. 7과 같이 모든 항공기의 초기 위상각은 서로 다르게 세팅하였다. 그러나 약 150초 후 $\pm 20^\circ$ 주기 운동으로 $\frac{2\pi}{n} = 90^\circ$ 로 수렴하고 있다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 원으로 이동하는 이동 표적을 4대의 항공기가 원의 형태를 그리면서 잘 추적하는 궤적이 나타나고 있으며, Fig. 8과 Fig. 9는 각각 원으로 이동하는 표적을 추적하는 항공기 간의 위상각과 항공기 간의 거리를 나타내고 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 다중 UAV를 활용하여 저속으로 이

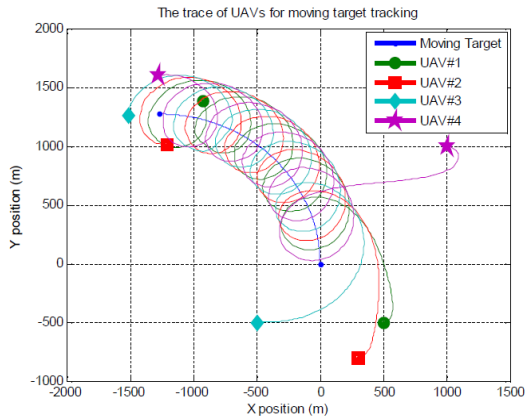


Fig. 7. Trace of UAVs for circle moving target

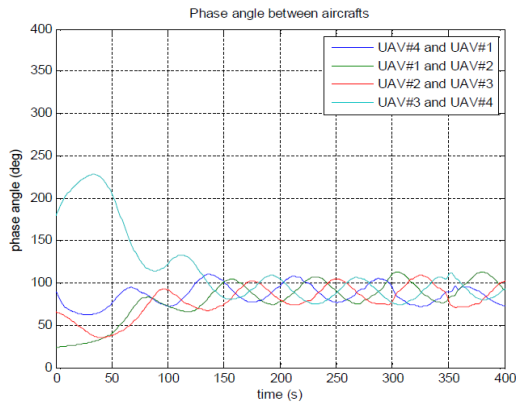


Fig. 8. Phase angle between aircrafts (circle moving target)

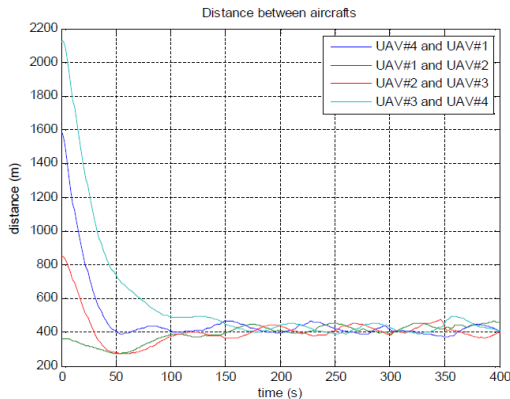


Fig. 9. Distance between aircrafts (circle moving target)

동하는 지상 표적 추적을 위해 벡터장 기반의 협력 유도 제어 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 롤 제어 명령을 통해 표적과의 일정 거리를 유지하며, 속도 제어 명령을 통해 UAV 간의 위상각을 일정하게 조정하여 표적을 효과적으로 추적하면서도 충돌을 방지하고, 다양한 관측 각도를 제공할 수 있도록 설계되었다.

본 연구에서 제안한 협력 제어 기법의 성능을 검증하기 위해 다양한 환경에서의 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 실험 결과, 제안된 기법은 정지 및 이동 표적을 대상으로 안정적인 추적 성능을 보였으며, UAV 간 충돌을 방지하면서도 미션 수행에 필요한 다양한 관측 시점을 제공하는 데 성공하였다. 또한, 본 연구에서 개발한 유도 제어 기법은 UAV뿐만 아니라 다수의 지상 로봇 시스템에도 적용할 수 있는 가능성을 확인하였고, 다중 UAV 기반의 자율 표적 추적 및 정찰 시스템 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구에서는 보다 복잡한 동적 환경에서의 적용성을 높이기 위해 장애물 회피 기능을 추가하고, UAV 간 통신 지연 및 센서 오차를 고려한 강건한 제어 기법을 개발할 예정이다. 또한, 실제 UAV 플랫폼에서 제안된 알고리즘을 실험적으로 검증하여 실환경에서의 성능을 평가하고자 한다.

Acknowledgement

이 출판물은 2021년도 한국항공대학교 교비지원 연구비에 의하여 지원된 연구의 결과임.

References

1. Frew, E. W., Lawrence, D. A., and Morris, S., "Coordinated standoff tracking of moving targets using Lyapunov guidance vector fields," *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 31(2), 2008, pp.290-306.
2. Han, D., Oh, J., Kang, W., Eom, S., Lee, D., Kim, D., and Han, S., "Flight scenario trajectory design of fixed wing and rotary wing UAV for integrated navigation performance analysis", *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 30(1), 2022, pp.38-43.

3. J. Gu., T. Su., Q. Wang., X. Du., and M. Guizani, "Multiple moving targets surveillance based on a cooperative network for multi-UAV," in *IEEE Communications Magazine*, 56(4), 2018, pp.82-89.
4. Kim, T., "Development of autonomous aerial target system applying the modular platform", *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 30(3), 2022, pp.109-116.
5. SY. Yang., L. Liao., H. Yang., and S. Li., "An Optimal control strategy for multi-UAVs target tracking and cooperative competition," in *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 8(12), 2021, pp.1931-1947.
6. Wang, Y., Wang, X., Zhao, S. et al., "Vector field based sliding mode control of curved path following for miniature unmanned aerial vehicles in winds". *J Syst Sci Complex* 31, 2018, pp.302-324.
7. Z. Xia., J. Du., C. Jiang., J. Wang., Y. Ren., and G. Li., "Multi-UAV cooperative target tracking based on swarm intelligence," *ICC 2021 - IEEE International Conference on Communications*, Montreal, QC, Canada, 2021, pp.1-6.