SÜRÜ İHA SİSTEMLERİNDE PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME TABANLI ENGELDEN KAÇINMA VE FORMASYON KONTROLÜ

Nevzat Buğrahan Türk[1], *Erkan Uslu*[2]

[1,2]Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi
[1]bugrahan.turk@std.yildiz.edu.tr, [2]euslu@yildiz.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, dar koridor ve engel yoğun ortamlarda sürü İHA'ların çarpışmasız ilerlemesi ve lider-takipçi yaklaşımıyla V-formasyonunu koruması problemi ele alınmıştır. Klasik ve kural tabanlı formasyon kontrol yöntemleri, ardışık engeller, dar geçişler ve hızlı yön değiştirme gerektiren senaryolarda sınırlı kalmaktadır. Benzer şekilde Yapay Potansiyel Alan tabanlı yöntemler düşük hesaplama maliyetine sahip olmalarına rağmen yerel minimum, salınım ve uygun geçiş yönünü zamanında belirleyememe gibi sorunlar üretebilmektedir. Bu kapsamda çalışmada, üst seviyede pekiştirmeli öğrenme tabanlı karar verme, alt seviyede ise klasik takip ve stabilizasyon denetimi kullanan hiyerarşik bir kontrol yapısı önerilmiştir. Deneyler PyBullet simülasyon ortamında yürütülmüş; karar katmanında Yakınsal Politika Optimizasyonu tabanlı ortak-gözlem/ortak-eylem politika yapısı kullanılmıştır. Eğitim süreci, engelsiz formasyon uçuşundan tek engel geçişine ve ardışık çoklu engel senaryolarına ilerleyen müfredatlı bir eğitim düzeniyle gerçekleştirilmiştir. Performans; navigasyon başarısı, engel çarpışması, koridor dışına çıkma ve formasyon korunumu ölçütleriyle değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda önerilen yöntem, ileri eğitim aşamalarında sırasıyla %80, %60 ve %50 başarı oranı üretmiştir. Yoğun ardışık engel senaryolarında yapılan karşılaştırmalı deneylerde pekiştirmeli öğrenme yaklaşımı 30 sabit test senaryosunun 4'ünde başarı sağlarken, Yapay Potansiyel Alan + Kaçış Stratejisi yöntemi hiçbir senaryoda başarı sağlayamamıştır.

Anahtar Kelime: *Sürü İHA, Pekiştirmeli Öğrenme, Engelden Kaçınma, Formasyon Kontrolü*

Abstract

This study addresses the problem of collision-free navigation of UAV swarms in narrow corridors and obstacle-dense environments while maintaining a V-formation through a leader-follower approach. Classical and rule-based formation control methods remain limited in scenarios involving consecutive obstacles, narrow passages, and rapid directional changes. Similarly, Artificial Potential Field-based methods have low computational cost; however, they may suffer from local minima, oscillations, and the inability to determine a suitable passage direction in a timely manner. In this context, a hierarchical control framework is proposed, in which reinforcement learning-based decision-making is employed at the high level, while classical tracking and stabilization control are used at the low level. The experiments were conducted in the PyBullet simulation environment, and a Proximal Policy Optimization-based joint-observation/joint-action policy structure was used in the decision-making layer. The training process was carried out through a curriculum learning scheme progressing from obstacle-free formation flight to single-obstacle passage and then to consecutive multi-obstacle scenarios. Performance was evaluated using navigation success, obstacle collision, out-of-corridor failure, and formation preservation metrics. The obtained results show that the proposed method achieved success rates of 80%, 60%, and 50% in the advanced training stages, respectively. In comparative experiments conducted on dense consecutive obstacle scenarios, the reinforcement learning-based approach achieved success in 4 out of 30 fixed test scenarios, whereas the Artificial Potential Field + Escape Strategy method did not achieve success in any scenario.

Keywords: *UAV Swarm, Reinforcement Learning, Obstacle Avoidance, Formation Control*