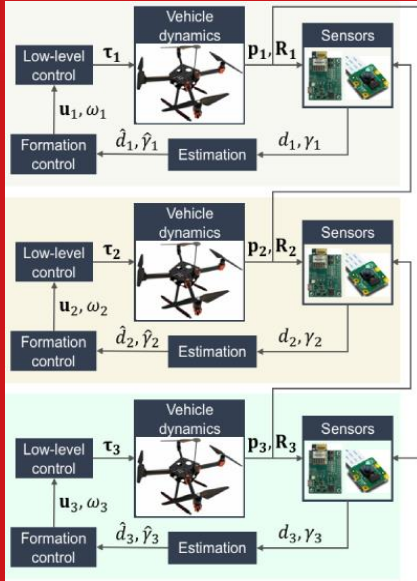


Design and Realization of Localization Algorithms  
for Multi-Robot Systems

Kader.kabore@agu.edu.tr

0000-0001-5388-9649



Thesis Advisor

**DOÇ. DR.**  
**SAMET GÜLER**

samet.guler@agu.edu.tr

**abstract** Multi-robot systems (MRS) can accomplish complex tasks extremely challenging for a single robot. For instance, in applications such as cooperative transportation, area coverage and search and rescue operations, MRS can be the best choice. MRS divides tasks into simpler commands and assigns them to individual robots. This structure favored decentralized approaches, which provide significant advantages, including scalability and robustness to single points of failure. Formation control in MRS relies on strong robot positioning, which is particularly challenging in environments where GPS is not available and external infrastructure does not exist. In outdoor environment, GPS can provide absolute positioning but may be insufficient for swarm robotics in environments such as indoors or tunnels. Indoor localization solutions, such as motion capture systems, come at a high cost and require additional infrastructure setup procedure. These limitations highlight the need for robust, onboard localization systems suitable for swarm robotics applications. This work presents a novel decentralized, marker-free localization framework for MRS that relies entirely on onboard capabilities, eliminating dependence on external infrastructure. To find a localization solution for MRS, our method combines cooperative localization algorithms powered by deep learning detections with formation control mechanisms. We validate the framework through extensive simulations and real-world experiments to validate the effectiveness of the proposed framework. We explore the system's scalability by adapting to varying team sizes, showcasing its effectiveness in applications. This work also provides an open-source dataset for ground robots, thereby promoting further research in MRS.

**Keywords** Relative localization, Mobile robotics, Formation control, Deep learning, Sensor fusion

**özet** Çok robotlu sistemler (MRS), tek bir robot için son derece zorlayıcı olan karmaşık görevleri gerçekleştirebilir. Örneğin, iş birliğiyle taşıma, alan kapsama ve arama-kurtarma operasyonları gibi uygulamalarda, MRS en iyi seçenek olabilir. MRS, görevleri daha basit komutlara bölerek bireysel robotlara atar. Bu yapı, ölçeklenebilirlik ve tek bir hata noktasına karşı dayanıklılık gibi önemli avantajlar sağlayan merkezi olmayan yaklaşımlara ilgiyi artırmıştır. MRS'deki formasyon kontrolü, özellikle GPS'in bulunmadığı ve dış altyapının olmadığı ortamlarda güçlü robot konumlandırmasına dayanır. Dış ortamlarda GPS mutlak konumlandırma sağlayabilir ancak kapalı alanlar veya tüneller gibi ortamlarda sürü robotları için yetersiz kalabilir. Hareket yakalama sistemleri gibi kapalı alan konumlandırma çözümleri, yüksek maliyetli olup ek altyapı kurulum prosedürleri gerektirir. Bu sınırlamalar, sürü robotikleri uygulamaları için uygun, dayanıklı ve dahili konumlandırma sistemlerine olan ihtiyacı vurgulamaktadır. Bu çalışma, tamamen dahili yeteneklere dayanan, dış altyapıya bağımlılığı ortadan kaldıran yeni bir merkezi olmayan, işaretleyicisiz konumlandırma çerçevesi sunmaktadır. MRS için bir konumlandırma çözümü bulmak amacıyla, yöntemimiz, derin öğrenme ile güçlendirilmiş iş birliği temelli konumlandırma algoritmalarını formasyon kontrol mekanizmalarıyla birleştirmektedir. Önerilen çerçevenin etkinliğini doğrulamak için kapsamlı simülasyonlar ve gerçek dünya deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sistem ölçeklenebilirliği, farklı ekip boyutlarına uyum sağlayarak test edilmiştir ve uygulamalardaki etkinliği gösterilmiştir. Bu çalışma ayrıca yer robotları için açık kaynaklı bir veri seti sunarak MRS alanında daha fazla araştırmayı teşvik etmektedir.

**Anahtar Kelime** Göreceli lokalizasyon, Mobil robotik, Formasyon kontrolü, Derin öğrenme, Sensör füzyonu