İŞBİRLİKÇİ GRAF TABANLI SLAM VE KOORDİNELİ KEŞİF

Meryem Koç[1], *Erkan Uslu*[2]
[1]Akıllı Ulaşım Sistemleri Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi
[2]Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi
[1]meryem.koc1@std.yildiz.edu.tr, [2]euslu@yildiz.edu.tr

Özet

Çoklu mobil robot sistemleri, endüstriyel otomasyon ve arama-kurtarma gibi kritik görevlerde tek robotlu çözümlere göre daha yüksek hız ve hata toleransı sağlamaktadır. Ancak başlangıç konumlarının bilinmediği senaryolarda, bağımsız oluşturulan yerel haritaların tutarlı bir küresel çerçevede birleştirilmesi ve koordineli keşfin sürdürülmesi temel bir problemdir; mevcut yöntemler genellikle ortak bir başlangıç referansı varsaymaktadır. Bu çalışmada, ROS 2 Humble altyapısında, Gazebo simülasyon ortamında üç TurtleBot3 Waffle Pi robotun otonom haritalama ve keşif süreçlerini koordine eden bütünleşik bir sistem sunulmaktadır. Her robot bağımsız poz-graf tabanlı SLAM süreci yürütmekte; robotlar arası ilk görsel temasta ArUco işaretçilerinden hesaplanan bağıl poz ölçümleri, poz-grafa robotlar arası görsel kısıt olarak eklenmektedir. Küresel poz-graf, Ceres Solver ile SE(2) uzayında optimize edilerek yerel harita çerçevelerini ortak küresel çerçeveye bağlayan dönüşümler elde edilmekte ve doluluk ızgaraları olasılık tabanlı hücre birleştirme ile gerçek zamanlı olarak birleştirilmektedir. Keşif süreci iki fazlı bir durum makinesi ile yönetilmektedir: Faz 1 küresel referans oluşana kadar bağımsız frontier tabanlı keşfi, Faz 2 ise merkezi görev atama ile koordineli keşfi tanımlamaktadır. Deneysel sonuçlar, önerilen mimarinin başlangıçta ayrık yerel haritaları robotlar arası görsel kısıtlarla küresel ölçekte hizalayabildiğini ve birleşik global harita üretebildiğini göstermektedir. Ceres backendinin bu deney düzeninde g2o'ya göre daha tutarlı sonuç verdiği; iki fazlı stratejinin boşta beklemeyi önleyerek keşif verimliliğini artırdığı ve gereksiz kapsama tekrarını azalttığı gözlenmiştir. Gelecek çalışmalarda yaklaşımın İHA-İKA heterojen robot filolarına ve SE(3) uzayına genişletilmesi planlanmaktadır.

Anahtar Kelime: *Çoklu Mobil Robotlar, ROS 2, Harita Birleştirme, Keşif, Graf Optimizasyonu*

Abstract

Multi-robot systems provide higher operational speed and greater fault tolerance than single-robot solutions in critical tasks such as industrial automation and search-and-rescue missions. However, when robot initial positions are unknown, merging independently generated local maps into a consistent global frame and maintaining coordinated exploration remain fundamental challenges; most existing methods assume a common initial reference frame. This study presents an integrated system that coordinates the autonomous mapping and exploration of three TurtleBot3 Waffle Pi robots within the ROS 2 Humble framework in a Gazebo simulation environment. Each robot runs an independent pose-graph-based SLAM process; upon the first inter-robot visual contact, relative pose measurements computed from ArUco markers are added to the pose graph as inter-robot visual constraints. The global pose graph is optimized in SE(2) using the Ceres Solver, yielding the transformations that align the local map frames with a common global frame, and the occupancy grids are merged in real time through probabilistic cell fusion. Exploration is governed by a two-phase state machine: Phase 1 defines independent frontier-based exploration until a global reference is established, while Phase 2 defines globally coordinated exploration through centralized task assignment. Experimental results show that the proposed architecture can align initially disjoint local maps at the global scale through inter-robot visual constraints and generate a merged global map. The Ceres backend produced more consistent results than g2o in this setup, and the two-phase strategy prevented robot idling, improving exploration efficiency and reducing redundant coverage. Future work will extend the approach to heterogeneous UAV-UGV fleets and the SE(3) domain.

Keywords: *Multi-Robot SLAM, ROS 2, Map Merging, Exploration, Graph Optimization*