

MOBİL ROBOTLAR İÇİN ROS KULLANILARAK 2B SLAM ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

İrem MERTYÜZ^{1*}, Oğuz YAKUT¹, Beyda TAŞAR¹

¹ Mekantronik Mühendisliği ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE

Makale Künye Bilgisi: Mertyüz, İ., Yakut, O., Taşar B., (2023). Mobil Robotlar İçin ROS Kullanılarak 2B SLAM Algoritmalarının Karşılaştırılması, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 29-38.

Öne Çıkanlar

- Mobil robotlarda kullanılan sensör çeşitlerine ve sayısına göre seçilecek SLAM yöntemi farklı olabilir.
- SLAM uygulamalarına oluşturulan haritaların görselleri kullanılarak performans değerlendirilmesi yapılabilir.
- Uygun SLAM yönteminin seçilmesi için mevcut donanıma göre en doğru sonucu veren algoritma Hector SLAM olmuştur

Makale Bilgileri	Öz
Makale Tarihiçesi: Geliş: 21 Ağustos 2023 Kabul: 4 Aralık 2023	Bu çalışmada iç mekânlarda kullanılmak üzere tasarlanan mobil robotlar için eş zamanlı konum belirleme ve haritalama (Simultaneous Localization and Mapping - SLAM) algoritmalarının uygulamaları gerçekleştirilmiştir. SLAM uygulamaları ROS kullanılarak Turtlebot3 Burger Robot ile yapılmıştır. Robot üzerine monte edilen ışın algılama ve mesafe ölçme sensörü (Laser Imaging Detection and Ranging LIDAR) sensör verisi kullanılarak GMapping, Hector SLAM, Frontier SLAM ve Karto SLAM olmak üzere dört farklı SLAM algoritması tasarlanan bir parkur içerisinde çalıştırılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen haritalarla her algoritmanın yapısal benzerlik indeksi (Structural Similarity Index – SSIM) değeri hesaplanarak haritaların kalite ve doğruluğu analiz edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: GMapping; Hector; Karto; Frontier; SSIM	

COMPARISON OF 2D SLAM ALGORITHMS USING ROS FOR MOBILE ROBOTS

Article Info	Abstract
Article History: Received: August 21, 2023 Accepted: December 4, 2023	In this study, the applications of simultaneous localization and mapping (SLAM) algorithms were carried out for mobile robots designed to be used indoors. SLAM applications were made with Turtlebot3 Burger Robot using ROS. Using the Laser Imaging Detection and Ranging – LIDAR sensor data mounted on the robot, four different SLAM algorithms, namely GMapping, Hector SLAM, Frontier SLAM and Karto SLAM, were run in a designed track. The quality and accuracy of the maps were analyzed by calculating the Structural Similarity Index (SSIM) value of each algorithm with the maps obtained from the experimental studies.
Keywords: GMapping; Hector; Karto; Frontier; SSIM	

1. Giriş

Günümüzde özellikle iç mekanlarda çalışan mobil robotlar için navigasyon önemli bir problemdir. Bu nedenle robotun ortamı tanıyabileceği haritalama ve bu harita içerisinde kendini konumlandırma işlemlerini gerçekleştirebilen SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) algoritmaları geliştirilmektedir. Harita, bilinmeyen bir ortamın görselleştirilmesine ve navigasyon için robotun yolunu ayarlamasına yardımcı olur. Haritanın sağladığı bir diğer önemli avantaj, navigasyon sırasında robotun pozunu tahmin ederken hatayı en aza indirmeye yardımcı olmasıdır (Singandhupe, A., & La, H. M. ,2019). Sensörlerden alınan veri türüne göre farklı SLAM algoritmaları bulunmaktadır (Zamora, E., & Yu, W. 2013). SLAM çözümünde mobil robotlarda genellikle LIDAR sensör verisi kullanılmaktadır. LIDAR'ın yanında IMU ve kamera sensörleriyle de çalışmalar yapılmaktadır.

Robotik alanındaki uygulamalarda popüler bir sistem olan ROS (Robot Operating System) SLAM uygulamaları için de gelişmiş bir yapı sunmaktadır. İçerisinde bulunan kütüphaneler ve sensör modelleri robotik uygulamalar için büyük çözümler sağlamaktadır. Hem simülasyon üzerinde hem de gerçek uygulamalarda ROS yapısı kullanılarak çeşitli SLAM teknikleri üzerinde çalışılabilmektedir (Kiran, B., Karthikeyan, S., Pasha, M. S., Manjunatha, K. N., Kumar, S. M., & Moras, S. V. , 2022).

ROS içerisinde erişilebilen SLAM tekniklerinin gerçek uygulamalarda nasıl performans gösterdiği ve sonuçların doğruluğu otonom mobil robotların geliştirilmesinde ayrı bir araştırma konusudur (Filipenko, M., & Afanasyev, I., 2018) (Giubilato, R., Chiodini, S., Pertile, M., & Debei, S. , 2019).

Bu çalışmada iç mekanlarda bir asistan robot olarak geliştirilecek olan robot için ön çalışma olarak ROS uyumlu SLAM algoritmalarıyla çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar için bir parkur tasarlanarak Turtlebot3

Burger Robot kullanılmıştır. ROS uyumlu SLAM algoritmalarından sadece LIDAR sensörü kullanılarak GMapping, Hector SLAM, Karto SLAM ve Frontier SLAM uygulamaları gerçekleştirilerek performansları değerlendirilmiştir. Literatürdeki çalışmaların çoğunluğu simülasyon üzerinde yapılarak performans değerlendirilmesi simülasyon sonuçlarına göre yapılmaktadır. Bu çalışmada gerçek bir robot üzerinde ve iç mekanda uygulamanın gerçekleştirilmesi ile algoritmalarının performansı daha doğru gözlemlenmiştir. Algoritmaların birbirine göre değerlendirmesinde ise ölçüt olarak SSIM (Structural Similarity Index Metric) kullanılmıştır. Bu yöntemle maliyetsiz ve popüler olan görüntü işleme tekniği kullanılarak haritaların değerlendirilmesi sağlanmıştır. Oluşturulan harita görüntüleri SSIM tekniği ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak model bir ortamda algoritmaların sadece LIDAR verisiyle oluşturduğu harita modelleri ve modellerin gerçek ortama benzerliği nicel olarak değerlendirilerek bu çalışma kapsamına uygun algoritma önerisi yapılmıştır.

2. Önceki Çalışmalar

SLAM algoritmalarının performans ve kalitesi için yapılan çalışmalarda araştırmacılar üç veya dört farklı metodu kullanarak değerlendirme yapmışlardır. Çalışmalarda mekan seçimi ve kullanılan robotun özelliklerinin farklı olması seçilen metodun performansını etkilemektedir. Bu kriterleri göz önüne alarak yapılan çalışmalara bakıldığında (Santos, J. M., Portugal, D., & Rocha, R. P. 2013)'te LIDAR sensör verisiyle birden fazla SLAM algoritmasının karşılaştırılması kentsel arama ve kurtarma için SLAM tekniği önerme hedefiyle yapılmıştır. Algoritmaların karşılaştırılmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Ölçüm metriklerine göre değerlendirme yapmanın yanında anlık olarak CPU yüküne bakılarak karşılaştırma yapılmaktadır (Bhargava, M., Mehta, R., Adhikari, C. D., & Sivanathan, K., 2021)(Rojas-Fernández, M., Mújica-Vargas, D., Matuz-Cruz, M., &

López-Borreguero, D., 2018). Benzer bir çalışmada (Yagfarov, R., Ivanou, M., & Afanasyev, I., 2018) ölçüm metriği olarak ADNN (Average Distance to the Nearest Neighbour) en yakın komşuya ortalama mesafesi kullanılmıştır. Harita görselleri üzerinde OpenCV kullanılarak duvar çizgilerini daraltma ve hizalama işlemi yapıldıktan sonra karşılaştırma yapılmıştır. Değerlendirmeyi hem harita kalitesi hem de yörünge takibi açısından yapan araştırmacılar (Nguyen, Q. H., Johnson, P., & Latham, D., 2022) RMSE (Root Mean Square Error) değerini ölçüm metriği olarak kullanmıştır. Kapalı ortamda dört çekişli bir robot için navigasyon sistemi geliştiren (Zhao, J., Liu, S., & Li, J., 2022) çalışmada üç farklı haritalama etkileri karşılaştırılmış ve sonuçta Karto SLAM uygulanmasına karar vermişlerdir. (Aerts, P., Demester E., 2017) 'in yaptığı çalışma benzer çalışmalardan farklı olarak algoritmaların değerlendirmesini yer gerçeği ile değil de haritaların birbirini kıyaslayarak yapmış olmasıdır. Haritaların birbirine dayalı olarak güçlü ve zayıf yönlerini keşfedebilmek için bu yöntemi kullanmıştır. Algoritmaların analizi üzerine yapılan (Dhaoui, R., 2022)'de ki tez çalışmasında harita kalitesi için ölçüm metriği olarak ICP (Iterative Closest Point) ve SSIM kullanmıştır. Ayrıca lokalizasyon doğruluğunu ölçerek algoritmanın kalitesini değerlendirmiştir. (Sankalprajan, P., Sharma, T., Perur, H. D., & Pagala, P. S. , 2020)'de 2B SLAM algoritmalarının yanında 3B SLAM algoritmalarının uygulamalarını da gerçek bir kara aracı prototipi üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Araç üzerindeki derinlik algılama kamerası, LIDAR ve IMU sensörleriyle veri işlemesi sağlanmıştır. Elde sonuçlarda 2B LIDAR sensörüyle yapılan GMapping metodunun daha iyi sonuç verdiğini gözlenmiştir. Hem simülasyondan elde edilen haritalar hem de gerçek zamanlı deneylerden elde edilen haritalar SSIM metriği ile değerlendirilmiştir. Simulasyondan elde edilen SSIM benzerlik oranı Gmapping, Hector ve RTAB-

Map metodlarında daha yüksek çıkarken Karto SLAM da deneysel sonuç daha iyi çıkmıştır.

SLAM sistemleri RGB, RGB-D, stereo kameralar ile IMU ölçümleri gibi farklı sensörler için geliştirilmektedir. Özellikle kameraların daha ucuz olması bu problem için araştırma alanını da artırmaktadır. Bu nedenle kamera verisiyle çalışan ve sadece görsel SLAM üzerinde araştırma yapan birçok çalışma vardır (Giubilato, R., Chiodini, S., Pertile, M., & Debei, S. , 2019). Aynı zamanda çoklu sensör yapıyla alınan veri kümelerinin SLAM sorununa tutarlı bir çözüm sağladığı düşünülmektedir (Sharafutdinov, D. ve diğerleri, 2023). Ayrıca uzun mesafeler için daha iyi sonuçlar verebilen ve 2B SLAM'in yerini alabilecek görsel SLAM teknikleri geliştirilmektedir. (Merzlyakov, A., & Macenski, S., 2021)'de bu tekniklerden üç tanesiyle çoklu sensör veri kümesi kullanarak karşılaştırma yapmışlardır.

Yapılan çalışmalar iç ve dış mekanlardaki robotlar için uzun vadeli kararlılık, ölçeklenebilirlik, sensör sapmaları ve yanlış kalibrasyonlar, hesaplama ve bellek gereksinimleri, dinamik nesnelere, belirsiz sahneler ve doğruluk gereksinimlerini sağlayabilecek SLAM yöntemlerini sunmak amacındadır.

3. Yöntem

Bu çalışmada SLAM yöntemlerinin performansını gerçek zamanlı ve bir robot üzerinde iç mekanda uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılacak olan Turtlebot3 Burger robot ile araştırılan ve uygulanan SLAM yöntemleri bu bölümde açıklanmıştır. İlk etapta sadece LIDAR sensör verisiyle çalışılmıştır. Yöntemlerin seçimi ise kullanılan sensör ile uyumu, iç mekan içerisindeki performansı ve popülerlik nedenleriyle yapılmıştır.

A. GMapping SLAM

Son yıllarda yaygın olarak kullanılan Gmapping (Grid-Mapping), LIDAR sensöründen alınan verilerle ve

odometri bilgisini kullanan lazer tabanlı olarak SLAM sağlayan bir ROS paketidir. Rao-Blacwellized Parçacık Filtresi tabanlıdır ve 2 boyutlu ızgara doluluk haritası oluşturur (Grisetti, G., Stachniss, C., & Burgard, W., 2007). Izgara doluluk haritası, çalışma ortamını 2 boyutlu hücrelere bölerek sensör verilerinin bu hücrelere olasılıksal şekilde doluluk veya boşluk değerinin atanmasıyla oluşturulur. Bu sayede robot oluşturulan haritayı kullanarak otonom hareketini sağlayabilmektedir.

Rao-Blackwellized Parçacık Filtresinin temel yapısı şu şekildedir:

Robot hareketi $x_{1:t} = x_1, \dots, x_t$, ortama ait gözlemler $z_{1:t} = z_1, \dots, z_t$, robotun odometri ölçümleri $u_{1:t-1} = u_1, \dots, u_{t-1}$ ve harita m olmak üzere robotun konumu $p(x_{1:t}, m | z_{1:t}, u_{1:t-1})$ tahmin edilir. Bu sayede robotun yörüngesinin tahmini ve aynı zamanda yörüngeyi kullanarak haritanın hesaplanması sağlanabilir. Haritalar çoğunlukla robotun poz tahminine bağlı olduğundan bu yaklaşımla verimli bir sonuç elde edilmektedir.

B. Hector SLAM

Hector-SLAM algoritması tarama-eşleştirme tabanlı haritalama yöntemidir. Izgara tabanlı algoritmalarından farklı olarak odometri bilgisine ihtiyaç duymaz. Bu nedenle yuvarlanma özellikleri sergileyen insansız hava araçları gibi hava robotlarında ve engebeli arazilerde çalışan kara robotlarında kullanıldığında avantaj sağlamaktadır. Ancak düşük oranlı taramalar mevcut olduğunda sorun yaşanabilir. Algoritma

tarama-eşleştirme problemini çözmek için Gauss-Newton yöntemini kullanır.

Bu yöntemle lazer taramasının uç noktalarının hizalamasını bulur. Yüksek hassasiyetli LIDAR' a ihtiyaç duyulur. 3 boyutlu haritalar oluşturulabilir (Kohlbrecher, S., Von Stryk, O., Meyer, J., & Klingauf, U., 2011). Bu metot ile yüksek çözünürlüklü, yüksek performansla sahip haritalar oluşturulabilir. Algoritmanın hatasız döngü kapatma özelliği yoktur.

C. Karto SLAM

Karto SLAM çeşitli mobil robotlarda yüksek performanslı ve ta özellikli SLAM olarak kategorize edilmiştir. GPS entegrasyonu içermesi sebebiyle koordinatların depolanması şekliyle robotun konumunun hesaplanması kolaylaşabilmektedir. Karto SLAM Cholesky Matrisi kullanan bir grafik optimizasyon yöntemidir. Grafiğin ortalaması, haritayı temsil etmek için kullanılır ve her düğüm, robot yörüngesinin bir konum noktasını ve sensör ölçümünün veri setini temsil eder [20]. Grafik optimizasyon yöntemi diğer yöntemlere göre geniş ortamlarda daha avantajlıdır.

Hector SLAM sadece LIDAR sensörü desteklerken Karto SLAM, LIDAR, kamera ve GPS sensörlerini de desteklemektedir. Bu sayede mobil robotlar, insansız hava araçları ve kara araçlarında kullanılabilir. Daha az işlem gücü ve daha az bellek gerektirir. Ancak Hector SLAM'a kıyaslandığında hata olasılığı daha yüksektir.

Tablo 1. SLAM yöntemlerinin karşılaştırılması

SLAM	Yöntem	Algoritma	Odometri Kullanımı
Gmapping	Parçacık filtresi	FastSLAM	Evet
Hector SLAM	Kalman filtresi	EKF	Hayır
Karto SLAM	Optimizasyon	Graph SLAM	Evet
Frontier SLAM	Optimizasyon	Sınır keşfi	Evet

D. Frontier SLAM

Frontier SLAM Geniş Öncelikli Arama (Breadth-First Search – BFS) algoritması gibi çalışmaktadır (Bhargava, M. vd., 2021). Geniş Öncelikli Arama algoritması ağaç yapısı benzeri veri yapılarında genişlemeyi temsil eden bir algoritmadır. Bir başlangıç düğümünden başlayarak her seviyedeki düğümleri ziyaret eder ve aşama aşama alt seviyelere iner. Genellikle en kısa yol problemleri ve ağaç gezinme gibi durumlarda kullanılmaktadır. Benzer yapıda çalışan ve ağaç düğümlerinin yerine fiziksel dünyayı keşfeden Frontier SLAM ise robotlar ve otonom sistemlerin keşfedilmemiş bölgeleri tespit edilmesinde kullanılmaktadır.

Frontier SLAM belirli bir alana odaklanarak robotun çevresindeki alanı tarar ve alanın sınırlarını belirler. Bu seçim genellikle robotun pozisyonuna veya sınırın büyüklüğüne göre yapılır.

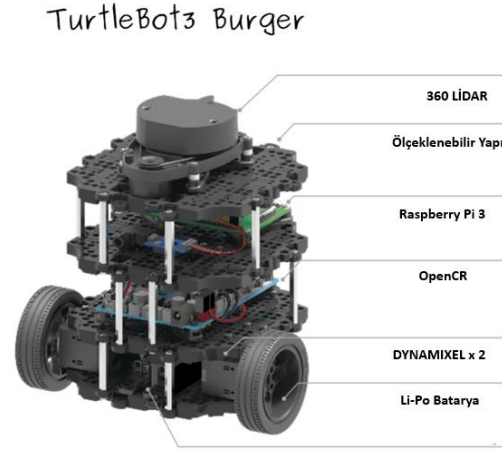
Seçilen sınıra gitmek için robotun hareket planı oluşturulur ve robot harekete geçirilir. Robot seçilen sınıra gittiğinde, sensörleri kullanarak sınırı tarar ve haritalar. Bu sırada, robotun pozisyonu da güncellenir. Sensör verileri kullanılarak, robotun çevresindeki alan için bir harita oluşturulur. Bu haritada bilinmeyen alanlar ‘sınır (frontier)’ olarak adlandırılır. Sınırlar, robotun keşfetmesi gereken alanları belirler.

Sınırlar belirlendikten sonra, robot hangi sınırı keşfetmek için seçeceğine karar verir.

Diğer metotlarda robotun çevresini taramak yerine robotun çevresindeki alana dair bir harita oluşturulmaktadır. Genellikle LIDAR ve kamera sensörü ile çalışmaktadır.

4. Sistem Kurulumu

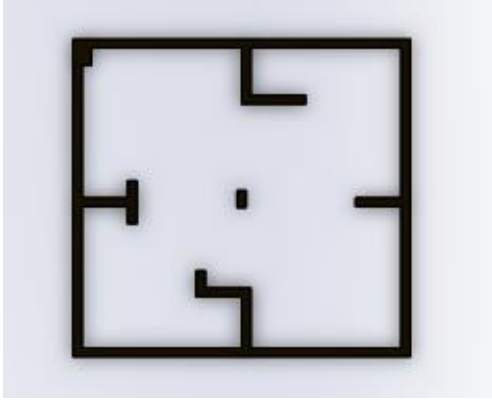
Tüm deneysel çalışmalarda ve simülasyon çalışmalarında Turtlebot3 Burger robotu kullanıldı. Bu robot OpenCR şirketi tarafından geliştirilmiştir ve ROS ile uyumlu çalışmaktadır. Robota ait donanımsal yapı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Turtlebot3 Burger Robotu (ROBOTIS)¹

Asistan robot iç mekan uygulamalarında çalışacağı için ilk çalışmalarda basit bir kapalı ortam oluşturularak robotla deneysel çalışmalar yapılması amaçlandı. Bu nedenle algoritmaların değerlendirilmesi için Şekil 2’de gösterilen robotun çalıştırılacağı 180 cm x 180 cm boyutunda kare şeklinde bir parkur tasarlandı. Parkur tasarımında robotun farklı açılardaki engelleri nasıl değerlendirdiğini görmek için 30 cm ve 10 cm genişliğinde labirent benzeri bir yapı kuruldu. Kullanılan tüm parçaların boyu robotun boyunu geçecek şekilde 30 cm olarak tasarlandı. Bu yapıyla robotun girebileceği dar alanlar oluşturuldu.

¹<http://emanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/overview>



Şekil 2. Parkur tasarımı



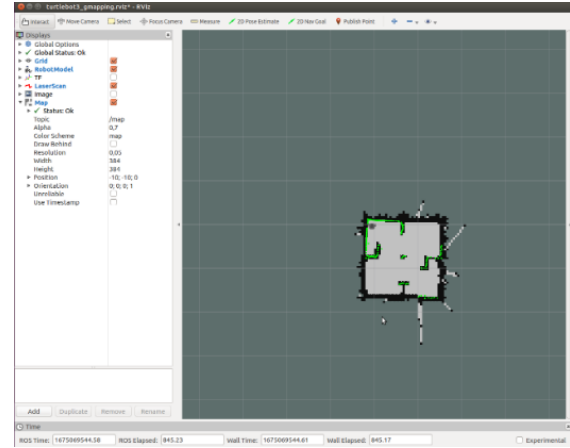
Şekil 3. Parkur

Tasarlanan parkur gerçek iç mekan uygulamalarında kullanılmak üzere Şekil 3'te gösterildiği gibi hazırlandı. LIDAR sensörün veri alımında hata oluşmaması için mat yüzeye sahip bir malzeme kullanıldı. Tüm duvar kalınlıkları eşit olacak şekilde hazırlandı ve birleşme alanlarındaki açıklıkların oluşması engellendi. Bütün algoritmalar aynı başlangıç konumu üzerinde başlatılarak bu parkur içerisinde çalıştırıldı.

5. Deneysel Çalışmalar

Robotik uygulamalarda sıkça kullanılan ROS sisteminin birden fazla mevcut sürümleri bulunmaktadır. Bu sürümler farklı destek paketlerini içermekte ve farklı donanımsal yapıları desteklemektedir. Bu versiyonlardan en çok yaygın olarak kullanılanı ROS Kinetic sürümüdür. Bu sürümün güncelleştirilmesi durdurulmuş olmasına rağmen sağladığı programsal özellikler nedeniyle

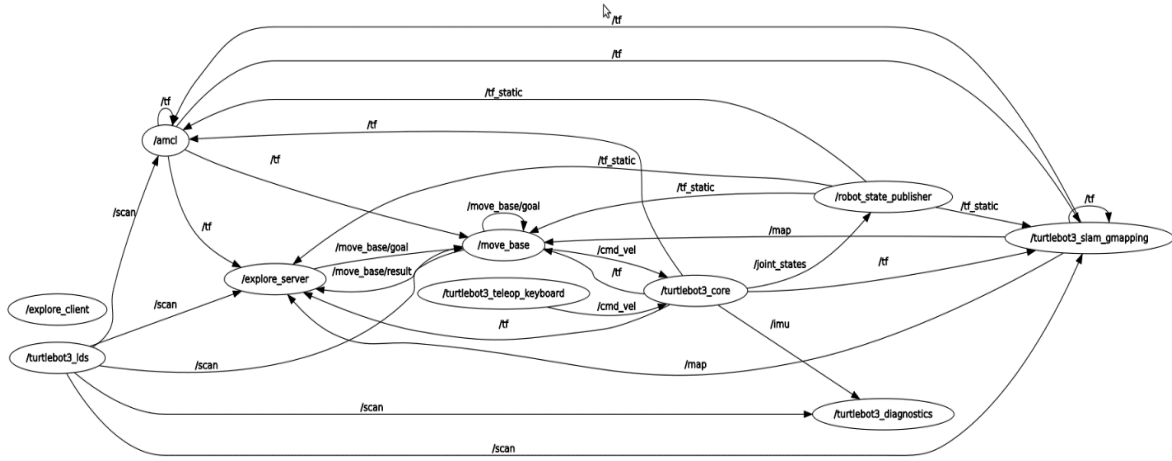
çalışmaların ilk adımı çoğunlukla bu versiyonla sağlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında da kullanılan robotun üzerindeki donanımsal yapı ve iç mekana uygun seçilen SLAM algoritmalarının desteklenmesi nedeniyle ROS'un Kinetic Sürümü ile çalışılmıştır. Bunun için Ubuntu 16.04 işletim sistemi kullanılmıştır. Robotun haberleşmesi Raspberry Pi 3B+ Modeli kullanılarak sağlandı. Sensör olarak sadece robot üzerindeki 2B LIDAR kullanıldı. Robotun hareketi esnasında LIDAR verilerine göre oluşturulan harita modeli Rviz denilen ROS Görselleştirme aracında gözlemlendi. Rviz, sensörlerden alınan verilerin görselleştirilmesinde kullanılan simülasyon aracıdır. Robotun gözünden görülen verileri sunmaktadır. Şekil 4'te robot parkur içerisinde haritalama yaparken Rviz de oluşturulan model gösterilmiştir. Tüm algoritmalarda bu veri takibi yapıлып harita modelleri kaydedilmiştir.



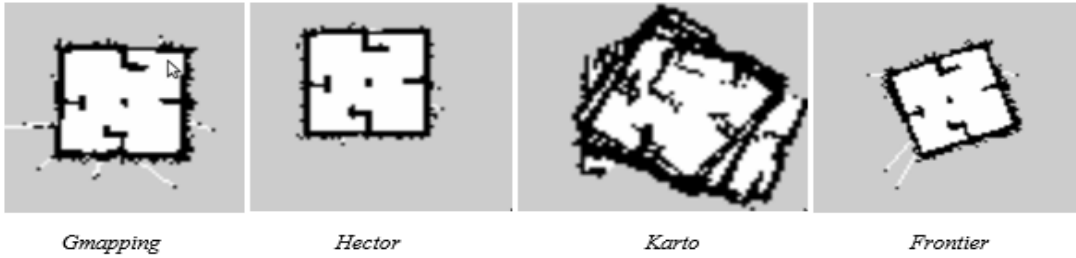
Şekil 4. Rviz Haritalama Görşeli

ROS düğümler(nodes) denilen yazılımlar tarafından yürütülür ve bu düğümler arasında bir mesaj alışverişi yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında parkur üzerinde deneysel çalışma yapılırken yürütülen tüm düğümler ve bu düğümler arasındaki iletişim ağı Şekil 4'te Rqt Grafik ile gösterilmiştir.

Gmapping algoritması için oluşturulan bu grafik ROS çalışma yapısını ve iletişim modelini de göstermektedir.



Şekil 5. Rqt Grafik modeli



Şekil 6. SLAM algoritmaları ile oluşturulan harita modeli

Bu aşamadan sonra algoritmaların performansını görebilmek için kaydedilen haritaların değerlendirilmesi yapılmıştır. Değerlendirme için sadece harita görselleri kullanıldığı için görüntü işleme teknikleri uygulanmıştır. Bunun için harita görseli değerlendirme yöntemlerinden biri olan SSIM kullanılmıştır.

SSIM Metrik

SSIM-Yapısal Benzerlik İndeksi SLAM algoritmalarının kalitesini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir (Dhaoui, R. (2022), (Sankalprajan, P. vd., 2020), (Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., & Simoncelli, E. P., 2004). SSIM algoritması kullanılarak iki görüntü arasındaki yapısal benzerlik ölçülerek oluşturulan haritanın değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bunun için SLAM algoritmaları ile oluşturulan harita görüntüsü ile parkura ait model görseli kullanılmaktadır. Görüntülerdeki benzerlik kontrast, parlaklık ve yapı

kullanılarak hesaplanmaktadır. Yapısal bilgiler kontrast ve parlaklıktan bağımsız olarak tanımlanmaktadır. Yapısal terim, yüksek oranda bağlantılı pikselleri veya uzamsal olarak eklenmiş pikselleri vurgular. Birbirine yüksek oranda bağlı olan bu pikseller, görünüm alanındaki görünür nesneler hakkında bazı daha önemli bilgileri temsil eder. Parlak maskeleye, görüntünün bozulan kısmının görüntünün kenarlarında daha az görünür olduğu bir terimdir. Öte yandan, kontrast maskeleye, görüntü dokusu bozulmasını daha az fark edilir hale getirmek için kullanılan bir terimdir (Sara, U., Akter, M., & Uddin, M. S. (2019).

Şekil 6'da algoritmalar tarafından gerçek parkur üzerinde robotla oluşturulan harita görselleri bulunmaktadır. Bu haritalar ilk değerlendirme olarak gözle kontrol edildiğinde parkur modelini en iyi oluşturan algoritmanın Hector SLAM olduğu görülmektedir. Bu çalışma için görsel değerlendirme yapmak kolay olsa da daha farklı ortam çalışmalarında

aynı şekilde değerlendirmek kolay olmayabilir. Ayrıca farklı sensörlerden alınan bilgilerin de işlenmesiyle harita modeli daha iyi ve ayırt edemeyecek seviyede oluşturulabilir. Bu nedenle sadece gözle değerlendirme yapılmayıp SSIM algoritması kullanılarak haritaların doğruluğu sayısal olarak belirlenmiştir. Bunun için oluşturulan harita görüntülerinin boyutları eşitlenmiştir.

Tablo 2. SLAM Metotlarının SSIM Değerleri

SLAM Algoritmaları	SSIM Değeri
Gmapping	0,8696
Hector	0,8733
Karto	0,7039
Frontier	0,8645

Tablo 2’de gösterilen sayısal değerler haritaların parkur modeliyle benzerlik ölçümü hesabıyla bulunan değerlerdir. Bulunan sonuçlara göre bu çalışma kapsamında en iyi harita görseli Hector SLAM ile oluşturulmuştur. Gmapping SLAM ile oluşturulan modele bakıldığında parkur modelini aşan gri çizgiler bulunmaktadır. Bunlar LIDAR verisinin iyi işlenememesinden kaynaklı oluşan sonuçlardır. Benzer görüntü Frontier SLAM ile de oluşmuştur. Karto SLAM ile oluşan modelde ise robotun hareketi boyunca parkur sınırlarını kaydırarak oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu da sonuçta harita modelinin doğruluğunu etkilemiştir.

6. Sonuç

Bu çalışma, asistan olarak tasarlanacak robotun iç mekan uygulamaları için yapılan ön çalışmalardan birini içermektedir. İlk olarak sadece LIDAR verisiyle yapılan deneysel çalışmayla haritalamanın ve uygulanabilecek algoritmaların sonuçları gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en iyi modeli Hector SLAM oluşturmuştur. Gmapping ve Frontier SLAM ise çok yakın değerinde yine iyi sonuçlar vermiştir. En kötü modeli ise Karto SLAM oluşturmuştur. Ancak sonuçlar sadece bir parkur ve bir

sensör verisiyle değerlendirildiği için algoritmanın genel kalitesini değerlendirmede yeterli olmayacaktır. Gelecek çalışmalarda LIDAR verisinin yanında kamera sensörü de eklenerek 2B SLAM teknikleriyle görsel SLAM tekniklerinin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

Çalışma sonucunda elde edilen değerlere genel olarak bakıldığında sonuçlar birbirine çok yakındır. Kullanılan sensör düzeneği nedeniyle çıkan bu sonuçta farklı bir parkur ortamında da algoritmaların aynı etkiyi göstermesi beklenmektedir. Gelecek çalışmalarda bu algoritmalarının performansının farklı sensörler eklenmesinin yanında farklı parkurlar üzerinde de benzer etki gösterip göstermediği üzerine yapılan çalışmalar sunulacaktır.

Yapılan deneysel çalışmaların değerlendirmesi SSIM yönteminin yanında farklı performans değerlendirme yöntemleriyle de ölçerek sonuçlar gelecek çalışmalarda karşılaştırılacaktır.

7. Kaynaklar

- Aerts, P., Demester E. (2017). Benchmarking of 2D-Slam Algorithms. A Validation fort he TETRA Project Ad Usum Navigantium.
- Bhargava, M., Mehta, R., Adhikari, C. D., & Sivanathan, K. (2021, July). Towards development of performance metrics for benchmarking SLAM algorithms. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1964, No. 6, p. 062115). IOP Publishing.
- Dhaoui, R. (2022). Vergleich LIDAR-basierter 2D-SLAM-Algorithmen auf ein TurtleBot3 auf Basis des Robot Operating Systems (ROS).
- Filatov, A., Filatov, A., Krinkin, K., Chen, B., & Molodan, D. (2017, November). 2d slam quality evaluation methods. In 2017 21st Conference of

- Open Innovations Association (FRUCT) (pp. 120-126). IEEE.
- Filipenko, M., & Afanasyev, I. (2018, September). Comparison of various slam systems for mobile robot in an indoor environment. In 2018 International Conference on Intelligent Systems (IS) (pp. 400-407). IEEE.
- Giubilato, R., Chiodini, S., Pertile, M., & Debei, S. (2019). An evaluation of ROS-compatible stereo visual SLAM methods on a nVidia Jetson TX2. *Measurement*, 140, 161-170.
- Grisetti, G., Stachniss, C., & Burgard, W. (2007). Improved techniques for grid mapping with rao-blackwellized particle filters. *IEEE transactions on Robotics*, 23(1), 34-46.
- Kiran, B., Karthikeyan, S., Pasha, M. S., Manjunatha, K. N., Kumar, S. M., & Moras, S. V. (2022, December). Design and Development of Autonomous Mobile Robot for Mapping and Navigation System. In 2022 IEEE Pune Section International Conference (PuneCon) (pp. 1-5). IEEE.
- Kohlbrecher, S., Von Stryk, O., Meyer, J., & Klingauf, U. (2011, November). A flexible and scalable SLAM system with full 3D motion estimation. In 2011 IEEE international symposium on safety, security, and rescue robotics (pp. 155-160). IEEE.
- Merzlyakov, A., & Macenski, S. (2021, September). A comparison of modern general-purpose visual SLAM approaches. In 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (pp. 9190-9197). IEEE.
- Nguyen, Q. H., Johnson, P., & Latham, D. (2022). Performance Evaluation of ROS-Based SLAM Algorithms for Handheld Indoor Mapping and Tracking Systems. *IEEE Sensors Journal*, 23(1), 706-714.
- Rojas-Fernández, M., Mújica-Vargas, D., Matuz-Cruz, M., & López-Borreguero, D. (2018, February). Performance comparison of 2D SLAM techniques available in ROS using a differential drive robot. In 2018 International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP) (pp. 50-58). IEEE.
- Sankalprajan, P., Sharma, T., Perur, H. D., & Pagala, P. S. (2020, June). Comparative analysis of ROS based 2D and 3D SLAM algorithms for Autonomous Ground Vehicles. In 2020 International Conference for Emerging Technology (INCET) (pp. 1-6). IEEE.
- Santos, J. M., Portugal, D., & Rocha, R. P. (2013, October). An evaluation of 2D SLAM techniques available in robot operating system. In 2013 IEEE international symposium on safety, security, and rescue robotics (SSRR) (pp. 1-6). IEEE.
- Sara, U., Akter, M., & Uddin, M. S. (2019). Image quality assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—a comparative study. *Journal of Computer and Communications*, 7(3), 8-18.
- Sharafutdinov, D., Griguletskii, M., Kopanev, P., Kurenkov, M., Ferrer, G., Burkov, A., ... & Tsetserukou, D. (2023). Comparison of modern open-source visual SLAM approaches. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 107(3), 43.
- Singandhupe, A., & La, H. M. (2019, February). A review of slam techniques and security in autonomous driving. In 2019 third IEEE international conference on robotic computing (IRC) (pp. 602-607). IEEE.

- Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., & Simoncelli, E. P. (2004). Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. *IEEE transactions on image processing*, 13(4), 600-612.
- Xuexi, Z., Guokun, L., Genping, F., Dongliang, X., & Shiliu, L. (2019, July). SLAM algorithm analysis of mobile robot based on LIDAR. In 2019 Chinese Control Conference (CCC) (pp. 4739-4745). IEEE.
- Yagfarov, R., Ivanou, M., & Afanasyev, I. (2018, November). Map comparison of LIDAR-based 2d slam algorithms using precise ground truth. In 2018 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV) (pp. 1979-1983). IEEE.
- Zamora, E., & Yu, W. (2013). Recent advances on simultaneous localization and mapping for mobile robots. *IETE Technical Review*, 30(6), 490-496.
- Zhao, J., Liu, S., & Li, J. (2022). Research and Implementation of Autonomous Navigation for Mobile Robots Based on SLAM Algorithm under ROS. *Sensors*, 22(11), 4172.