

Sürü Robotlarda ArUco Tabanlı Navigasyon ve Hareket Optimizasyonu

Abdulhamit Sevgi^{1*} ve Mustafa Güneş²

¹Elektronik ve Otomasyon Bölümü/ MYO, OSTİM Teknik Üniversitesi, Ankara/Türkiye

²Elektronik ve Otomasyon Bölümü/ MYO, OSTİM Teknik Üniversitesi, Ankara/Türkiye

*(abdulhamit.sevgi@ostimteknik.edu.tr)

(Geliş Tarihi: 26 Eylül 2023, Kabul Tarihi: 05 Ekim 2023)

(3rd International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2023, September 26-28, 2023)

ATIF/REFERENCE: Sevgi, A. & Güneş, M. (2023). Sürü Robotlarda ArUco Tabanlı Navigasyon ve Hareket Optimizasyonu. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(9), 81-86.

Özet – Bir robot sürüsü, görevleri koordineli olarak yerine getirebilen ve problemleri bireysel çalışan robotlardan daha verimli şekilde çözebilen çoklu robot kümesidir. Endüstri 4.0 ile birlikte özellikle üretim, tarım ve savunma sanayiindeki yeniliklere bağlı olarak sürü robotların haberleşme ve kontrol yöntemleri üzerine de birçok bilimsel çalışma yapılmaktadır. Bu haberleşme ve kontrol algoritmaları genellikle birden fazla robottan oluşan toplulukları kontrol etmeyi amaçlar. Ancak, maliyet, zaman veya karmaşıklık nedenleriyle halen AR-GE aşamasında olup yaygınlaşması için çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada ise birden fazla mobil robotun gerçek zamanlı olarak birbirleriyle ve master denetleyici ile haberleşerek, mobil robotların yer tespiti ve navigasyonu için, Artırılmış Gerçeklik Cordoba Üniversitesi (ArUco) işaretlerine dayalı bir kontrol ve haberleşme algoritması geliştirilmiştir. Algoritmanın çıktıları OSTİM Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri(BAP) Komisyonu tarafından desteklenen BAP202306'nolu proje çalışmasıyla geliştirilen sistemle birlikte test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Mobil Robot, Sürü Robot, Endüstri 4.0, Kontrol ve Haberleşme, ArUco.

I. GİRİŞ

Robotlar son yıllarda birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu araştırmalarda en önemli konulardan biri de kapalı alanlarda çalışan robotların konumlandırılmasıdır. Kapalı alanlarda Küresel konumlandırma sistemlerinin çalışmaması nedeniyle robotların konumlarının tahmin edilmesi için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en popülerleri; bilgisayar görüşü tabanlı sıra işaretçileri yöntemi ve eşzamanlı yerelleştirme ve haritalama (SLAM) haritalama algoritmalarıdır. İşaretçi yöntemi ortamda belirlenen konumların veya robotların etiketlenmesine dayanan bir yöntemdir ve ön kurulum gereklidir. SLAM'da ise böyle bir ön kurulumla ihtiyaç yoktur sadece robot üzerine konumlandırılan sensörlerle çevreyi keşfetmesi ve haritalandırmasına dayalı bir yöntem vardır [1]-[4].

İkinci yöntem daha kolay ve elverişli olmasına rağmen birinci yöntemin maliyetinin daha uygun olması tercih sebebi olabilmektedir.

Kapalı alanlarda robotların konumlandırılmasının yanı sıra statik ve dinamik engeller ve konumlara göre robotların vereceği tepkilerde önemlidir. Statik engeller veya hedefler zamana göre yer değiştirmediklerinden robotlar eğitici öğrenme metotları ile ve deneme yanılma yöntemleriyle görevlerini yerine getirebilmektedirler. Fakat dinamik ortamlarda eğitici öğrenmenin başarı oranı düşmektedir. Bu nedenle böyle ortamlarda robotlar çevresel sensörlere ve gelişmiş algoritmalara da ihtiyaç duymaktadır [5]-[7].

Robotların bireysel konumlandırması ve çevresel etkenlere karşı verebileceği tepkilerin güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi göz önüne alındığında bireysel maliyetleri oldukça yüksek olabilmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı son zamanlarda sürü robotiği çalışmaları artmaktadır Sürü robotiği, robotların tek tek yapamayacağı veya kısmen yapabileceği zor görevleri gerçekleştirmek için merkezi olmayan bir şekilde koordine edilmiş, basit homojen robot gruplarının birlikte eş güdümlü olarak çalışmasına dayanan bir araştırma alanıdır [8]-[11].

Sürü robotiği alandaki ilk yaklaşımlardan biri 1990'ların ortalarında geliştirilen bir küçük diferansiyelli Khepera mobil robotudur [12]. Khepera robotunun ardından Alice robotu geliştirilmiştir. Alice oldukça küçük, otonom ve ucuz olduğu için oldukça popüler oldu. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda karmaşık bir robot yerine 90 adet Alice kullanılarak sürü robotiğinde başarılı bulgular elde edilmiştir [13].

Sürü robotiği alanında yapılan ulusal çalışmalardan biri ise Türkiye'de ODTÜ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)'de geliştirilen Kobot'tur. Kobot, koordineli hareket gibi çeşitli sürü robotik araştırma görevleri için tasarlanmış çeşitli sensörlere sahip bir mobil robottur. Kobotlar, uyumlu bir grup olarak hareket edebileceklerini ve engellerden başarılı bir şekilde kaçınan bir robot sürüsünün kendi kendini organize edebileceğini ortaya koymuştur [14],[15].

Sürü robotiğinde robotlar, temel reaktif haritalamadan karmaşık yerel algoritmalara kadar değişen bir dizi kurala dayalı olarak çeşitli davranışlar sergiler. Bu davranışlar genellikle diğer robotlar ve fiziksel çevreyle etkileşimleri içerir. Bu çalışmada ise birden fazla robotun en yakın ve uygun olanının veya onların hedef noktasına ulaşması için bir algoritma geliştirilmiştir ve sonuçları gözlemlenmiştir.

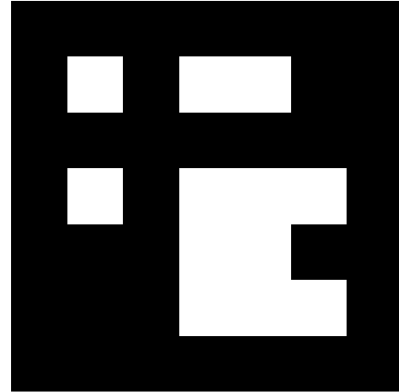
II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bir robot kümesinin sürü olarak adlandırılması için belirli şartları sağlaması gerekmektedir:

- Robotlar küçük ve uygun maliyetli olmalıdır.

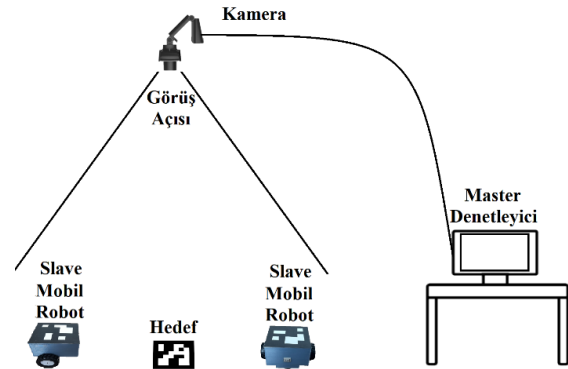
- Bütün robotlar aynı özellikleri barındırmalıdır.
- Robotlar basit iletişim ve algılama yeteneklerine sahip olmalıdır.
- Problem çözümü için mutlaka robotlar birlikte çalışmalıdır.

Bu şartları robotların sağlayabilmeleri için hedefin ve birbirlerinin konumlarını bilmeleri ve uygun şekilde hareket sağlayacak algoritmaya sahip olmaları gereklidir. Konum algılama için bu çalışmada ArUco işaretleyicileri kullanılmıştır. ArUco işaretleyicileri, siyah veya beyaz renklerle doldurulmuş kare hücre ızgaralarından oluşur. İşaretçinin bu özelliği sayesinde dört kenarının konumuna ulaşılabilir. Konumun doğru tespiti için bir adet kamera işaretçiyi görebileceği uygun bir pozisyona yerleştirilip kalibre edilmesi gerekmektedir. İşaretçinin konumuna ve hareketine bağlı olarak sadece sapma açısının hesaplanması sistemin doğru bir şekilde çalışması için etkili olmaktadır [16]-[19] Şekil 1'de sistemde kullanılan 5X5 ArUco işaretçi örneği verilmektedir.



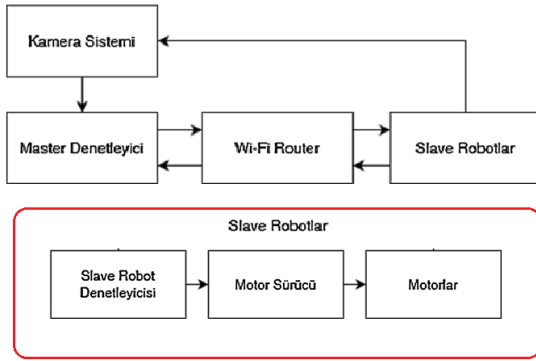
Şekil 1. Örnek ArUco işaretleyicisi.

ArUco işaretleyicileri kullanılarak yapılan deney düzeneği Şekil 2'de verilmektedir.



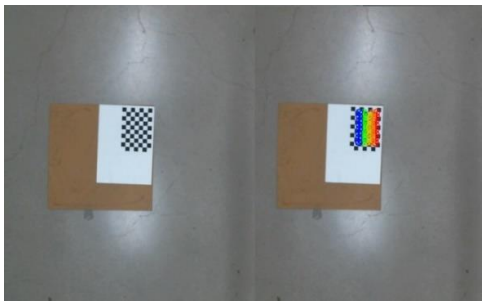
Şekil 2. Sürü robot deney düzeneği temsili görseli.

Şekil 2’de görüldüğü üzere kamera bütün robotları görebileceği bir açıda uygun bir yüksekliğe yerleştirilmiş ve gerekli görselleri Master denetleyiciye iletmektedir. Master denetleyici ise gerekli kararları alarak sisteme uygun hareket komutlarını göndermektedir. Sistemin görüntülenmesi için SJCAM C200 kamera, Master denetleyici olarak Jetson Xavier NX ve Slave robotlarda denetleyici olarak ESP8266 kullanılmıştır. Sistemin çalışmasına ait genel blok diyagramı Şekil 3’te verilmektedir.



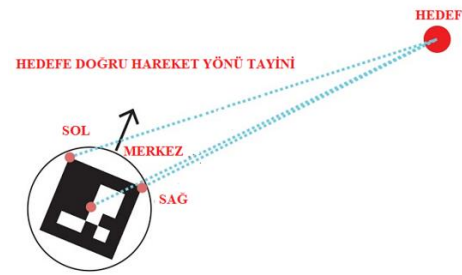
Şekil 3. Sistem blok diyagramı.

Blok diyagramında belirtildiği üzere kameradan alınan görüntüler gerçek zamanlı olarak Master denetleyiciye iletilmektedir. Master denetleyici ise ArUco işaretçilerini konum bilgilerine dönüştürmekte ve robotlar hakkında uygun değerlendirmeyi yaparak hedef noktasına en uygun robot veya robotlara hareket komutu göndermektedir. Robotlar hedefe giderken diğer robotlarla çarpışmaması ve uygun hareketleri yapması için kameranın uygun bir şekilde kalibre edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle doğru pozisyon ve boyut bilgilerinin elde edilebilmesi için kamera yazılımsal olarak klasik satranç tahtası yöntemi ile kalibre edilmiştir. Kalibrasyon aşamasına ait görsel Şekil 4’te verilmektedir.



Şekil 4. Kameranın kalibrasyon aşaması.

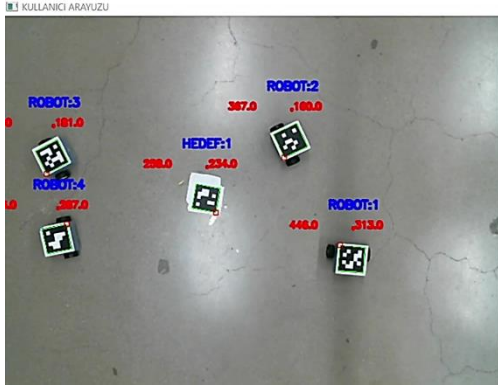
Kalibrasyon işlemi tamamlandıktan sonra sistemin açısal sapmasıyla birlikte doğru pozisyon hesaplaması sağlanmaktadır. ArUco kodlarda 4 kenarın konum verisi sol ön, sağ ön, sol arka ve sağ arka olacak şekilde her robot veya hedef için ayrı ayrı gerçek zamanlı olarak “.csv” formatında kaydedilmektedir. Elde edilen bu konum bilgilerine göre robotlar ile hedefler arasındaki mesafe ve açı farkı hesaplanabilmektedir. Robotun hareket yönü ve açısına karar verirken bu parametreler göz önünde bulundurulmaktadır. Şekil 5’te robotların hedefe hareketinin yönü tayini temsili verilmektedir.



Şekil 5. Hedefe doğru hareket yönü tayini.

Burada ilk olarak hedefin ve robotun açısal olarak durumları kontrol edilir. Açı farkı belirlenen eşik değeri arasında oluncaya kadar robot sağa veya sola dönüş yapar. Açı farkı uygun hale gelmesinin ardından robot ileri yönlü hareketini gerçekleştirir ve hedefe doğru hareket eder. Robot hedef noktasına ulaşıncaya kadar bu döngü tekrarlanır.

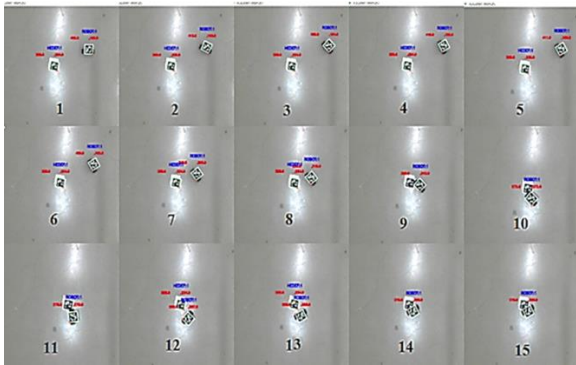
Bu çalışmada üç farklı deney gerçekleştirilmiştir. Birinci deney robotların bireysel olarak hedefe ulaşmasını amaçlamaktadır. İkinci deney robotların hepsi kameranın görüş alanı içindeyken en yakın ve en uygun robotun tespit edilerek hedefe onun ulaşmasını sağlamaktır. Üçüncü görev ise birden fazla robotun tek bir hedefe beraber ulaşmasını sağlamaktır. Şekil 6’da robotların ArUco işaretçileri ile belirlenmesi ve konumlandırılmasına ait görsel verilmektedir.



Şekil 6. Robotların ve hedefin ArUco belirteçler ile etiketlenmesi.

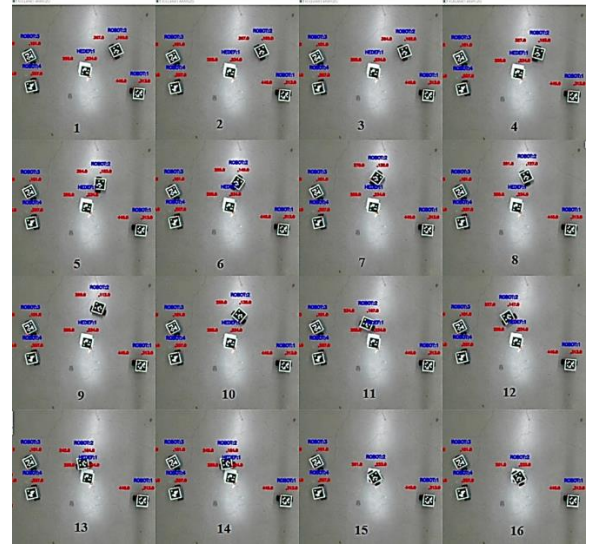
III. BULGULAR

Yapılan deneysel çalışmalarda robotların bireysel ve toplu olarak yaptıkları hareketler kayıt altına alınmıştır buradan elde edilen görseller birleştirilerek Şekil 7’de bireysel robotun hedefe ulaşması verilmektedir.



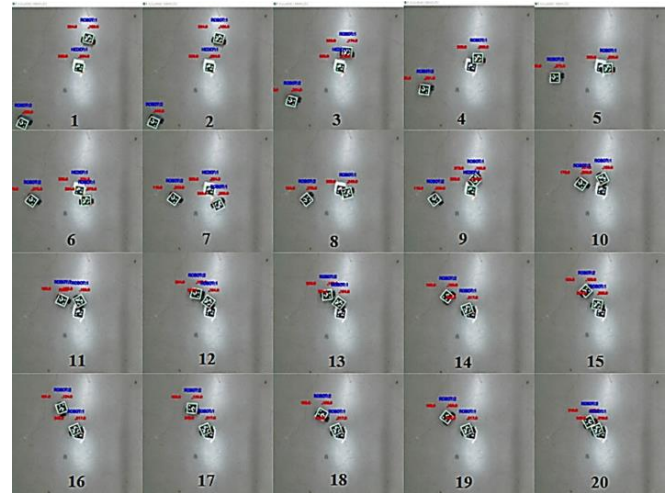
Şekil 7. Robotun bireysel hedefe ulaşmasına ait görsel.

Şekil 8’de hedefe en yakın robotun hedefe ulaşmasına ait görsel verilmektedir.



Şekil 8. Hedefe en yakın robotun hedefe ulaşmasına ait görsel.

Şekil 9’da iki robottan hedefe yakın olan robotun hedefe yönelmesi hedefe uzak olanın yakın robotu takip etmesine ait görsel verilmektedir.



Şekil 9. Hedefe en yakın robotun hedefe ulaşması ve diğer robotun onu takip etmesine ait görsel.

IV. TARTIŞMA

Bu çalışma robotların sürü mantığı ile hedefe ulaşması ve birbirinden sakınmasına yönelik bir çalışma olması sebebiyle literatüre bakıldığında benzer çalışmalardan farklı ve düşük maliyetli bir yöntem kullanılmış ve başarı oranı gözlemlenmiştir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, bir mobil sürü robot kümesinin iç mekan ortamında bireysel veya birlikte çalışma durumlarında, konumlandırmak ve hedefe

yönlendirmek için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemin sonuçları 3 fazlı deneysel bir çalışmayla gözlemlenmiştir. Çalışma deneyleri 3 fazın ilkinde 15 kez, ikinci fazda 12 kez ve son fazda 8 kez gerçekleştirilmiştir. Sistem bütün fazlarda başarılı bir şekilde çalışmış ve hedefe en uygun olan robot veya robotlar hedefe ulaşmışlardır. Bu çalışma endüstriyel ortamda çalışan mobil robotların gelişimine farklı bir bakış açısı sunularak fabrika içi lojistiğinde kullanılan büyük ve pahalı mobil robotlar yerine küçük ve düşük maliyetli sürü sistemlerinin güçlü bir alternatif olabileceği gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma OSTİM Teknik Üniversitesi BAP Komisyonu tarafından BAP202306'nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Çalışmaya olan desteklerinden dolayı OSTİM Teknik Üniversitesi ve BAP Komisyonuna teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Y. D. V. Yasuda, L. E. G. Martins, and F. A. M. Cappabianco, "Autonomous Visual Navigation for Mobile Robots," *ACM Computing Surveys*, vol. 53, no. 1, pp. 1–34, Feb. 2020, doi: 10.1145/3368961.
- [2] A. V. Astafiev, A. L. Zhiznyakov and A. A. Demidov, "The Use of Butterworth Filter to Compensate for Noise in Signals from Bluetooth Low Energy Beacons in Autonomous Navigation Systems," 2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russia, 2020, pp. 1117-1121
- [3] Z. Meng, C. Wang, Z. Han and Z. Ma, "Research on SLAM navigation of wheeled mobile robot based on ROS," 2020 5th International Conference on Automation, Control and Robotics Engineering (CACRE), Dalian, China, 2020, pp. 110-116.
- [4] F. Zhang, S. Li, S. Yuan, E. Sun and L. Zhao, "Algorithms analysis of mobile robot SLAM based on Kalman and particle filter," 2017 9th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC), Kunming, China, 2017, pp. 1050-1055.
- [5] X. Zhang, Y. Zhao, N. Deng and K. Guo, "Dynamic Path Planning Algorithm for a Mobile Robot Based on Visible Space and an Improved Genetic Algorithm". *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 2016;13(3). doi:10.5772/63484
- [6] C. Kim, J. Suh, and J.-H. Han, "Development of a Hybrid Path Planning Algorithm and a Bio-Inspired Control for an Omni-Wheel Mobile Robot," *Sensors*, vol. 20, no. 15, p. 4258, Jul. 2020.
- [7] Y. Li vd., "A Mobile Robot Path Planning Algorithm Based on Improved A* Algorithm and Dynamic Window Approach," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 57736-57747, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3179397.
- [8] M. Al-Obaidy and R. Al-Azawi, "Cluster-based Algorithm for Energy Optimization of Swarmed Robots using Swarm Intelligence," 2019 Sixth HCT Information Technology Trends (ITT), Ras Al Khaimah, United Arab Emirates, 2019, pp. 202-207.
- [9] K. J. Miraswan, M. A. Buchari and R. Kurniati, "Fuzzy Hierarchical Model and Particle Swarm Optimization in Gas Leakage Detector Mobile Robot," 2019 4th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE), Yogyakarta, Indonesia, 2019, pp. 417-422.
- [10] S. C. Nair, E. M. Coronado, M. T. Frye and Y. Qin, "Swarm intelligence for the control of a group of robots," 2015 10th System of Systems Engineering Conference (SoSE), San Antonio, TX, USA, 2015, pp. 205-207.
- [11] S. I. A. Meerza, M. Islam and M. M. Uzzal, "Q-Learning Based Particle Swarm Optimization Algorithm for Optimal Path Planning of Swarm of Mobile Robots," 2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology, 2019, pp. 1-5.
- [12] L. F. Wang, K. C. Tan and V. Prahlaad, "Developing Khepera robot applications in a Webots environment," MHS2000. Proceedings of 2000 International Symposium on Micromechatronics and Human Science (Cat. No.00TH8530), Nagoya, Japan, 2000, pp. 71-76.
- [13] G. Caprari and R. Siegwart, "Mobile micro-robots ready to use: Alice," 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Edmonton, AB, Canada, 2005, pp. 3295-3300.
- [14] A. E. Turgut, F. Gökçe, and E. Şahin, "Self-organized flocking with a mobile robot swarm," Estoril; Portugal, 2008, pp. 39–46.
- [15] A. E. Turgut, F. Gökçe, and E. Şahin, "Self-organized flocking with a mobile robot swarm," Estoril; Portugal, 2008, pp. 97–120.
- [16] S. Garrido-Jurado, R. Muñoz-Salinas, F.J. Madrid-Cuevas, and M.J. Marín-Jiménez. "Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion. *Pattern Recognition*," 2014, pp. 2280–2292.
- [17] R. Francisco J. Romero, R. Muñoz-Salinas and R. Medina Carnicer. "Speeded up detection of squared fiducial markers." *Image Vis. Comput.* 2018, pp. 38-47.

[18] A. Babinec, L. Jurišica, P. Hubinský and F. Duchoň. "Visual localization of mobile robot using artificial markers." *Procedia Engineering*. 2014, pp. 1-9.

[19] H. Lim and Y. Sam Lee. "Real-time single camera slam using fiducial markers." In 2009 ICCAS-SICE, 2009, pp. 177–182.