

MOBİL ROBOTLAR İÇİN TARAMA PLATFORMUNUN TASARIMI VE UYGULAMASI

G. ASLAN¹, İ. KONUKSEVEN², A. B. KOKU³

¹gokhan.aslan@msn.com ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü 06531 Ankara

²konuk@metu.edu.tr, ³kbugra@metu.edu.tr

ÖZET

Navigasyon için çevre hakkında bilgi sahibi olmak büyük bir avantajdır. Doğru tepki verebilmek için çevre hakkında edilen bilgi mümkün olduğunca görevlendirme sırasında olmalıdır. Robotlar kirliliği ortamlarda, tehlikeye yerlerde yada tamamen güvenli yerlerde farklı görevler için kullanılmaktadırlar. Robot kullanımı için, çevre tarama yetenekleri günümüzde oldukça sınırlıdır. Tarama sistemleri sınırlamalara bağlı kalarak, ortamı belirli bir düzeyde tarama ve uygun yazılım ile şekillendirir. Bazı durumlarda, bu tarama kabiliyeti düzgün bir reaksiyon için yeterli değildir. Bu makale, ihtiyaçları göz önüne alarak, mobil robotlar için bir tarama platformunun tasarım ve uygulamasını göstermektedir. Bu çalışmada, bir lazer mesafe ölçücü ile kompakt tasarımı tarama platformu maksimum görüş açısı ile yüksek çözünürlükte hızlı haritalama için ele alınacaktır. Tasarım ile mesafe bulucu z-ekseninde döndürülerek birinci boyutu sağlayacak, lazer mesafe bulucu ise sistemin ikinci boyutu için mesafe ölçümü yapacaktır. Ayrıca, mesafe bulucu lazer ışığını mesafe ölçüm eksenine ve dönen z-ekseninden farklı olarak başka bir ekseninde döndürmektedir. Bu şekilde, tarama sistemi, üç boyutlu bir tarama yeteneğine sahip olacaktır. Bu tasarım ile, üç boyutlu olarak tarama platformuna, sürekli tarama kabiliyeti sağlanması amaçlanmıştır.

Anahtar Terimler: Lazer mesafe bulucu, üç boyutlu mesafe bulucu, üç boyutlu tarama

ABSTRACT

It is a great advantage of gaining knowledge about the environment for navigation. The environment should be measured during the employment as exactly as possible, in order to be able to react correctly. Robots are being used for different tasks at contaminated environments, places in danger or completely safe places. For robotic use, scanning capabilities of the environment are limited at the present. Adhering to the limitations of the scanning systems, the environment is scanned at a particular level and charted with appropriate software. In some cases, this scanning capability is not enough to react correctly. Taking these needs into consideration, this paper demonstrates the design and implementation of a scanning platform for mobile robotics. A scanning platform with a laser rangefinder scanner will be addressed in a compact design with maximum field of view for quickly mapping and high resolution. With this design, the scanning system will be provided by rotating laser rangefinder at z-axis in one dimension. Laser rangefinder will also measure the distance as the second dimension of the system. Also it rotates the laser beam at another axis which is different from the measuring distance axis and rotary z-axis. In this way, the scanning system will have the three-dimensional scanning ability. This design allows the scanning platform, continuous scanning capability at three dimensional.

Key Words: Laser Rangefinder, 3D Rangefinder, 3D Scanning

1. GİRİŞ

Mesafe bulucular 30 yılı aşkın süreyle çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Bu sensörlerin günümüzde kompakt olarak tasarlanması bir çok uygulamada kullanılmasına olanak tanımaktadır. Genelde robot uygulamalarında kullanılan mesafe bulucular, kullanıldıkları robotlara üç boyutlu görüş açısı sağlayarak, kendilerine atanan görevleri en iyi şekilde yapmalarını sağlamaktadır.

Üç boyutlu görüş açısını kullanan otonom robotlar için görüşü sağlayan üç boyutlu mesafe ölçümünün yüksek doğruluk ve hassasiyette çalışması oldukça önemlidir. Bu sebeple kullanılacak mesafe bulucu ve tarama mekanizmasının seçimi oldukça kritiktir.

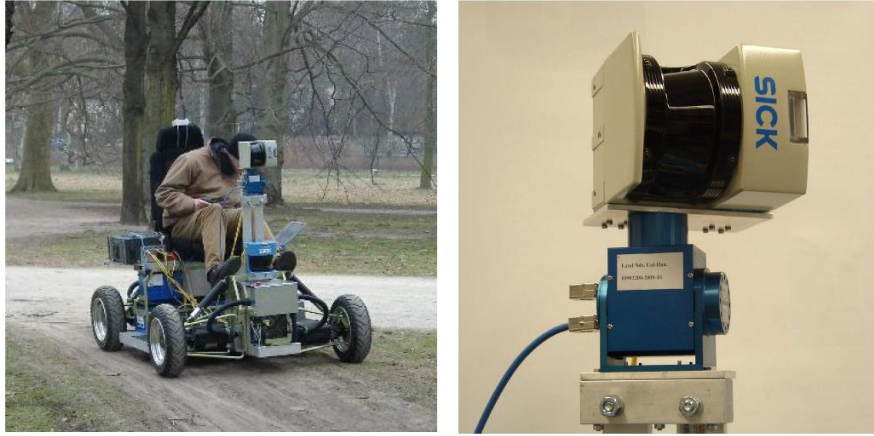
Mesafe ölçümü için ticari olarak satılan oldukça fazla sensör vardır. Bu alanda kullanılan sensörlerin neredeyse tamamı "time of flight" [1] yöntemini kullanarak ilgili ölçümü hassas bir şekilde yapmaktadır. Bu method ile çalışan sensörler mesafeyi, çeşitli dalga boylarında gönderdiği lazer ışığının geri dönme süresinden faydalanarak hesaplamakta ve son kullanıcıya vermektedir.

Üç boyutlu mesafe ölçümü yaparak yüksek görüş açısı ile uzun mesafe tarama bilgisi sağlayan tarama platformlarının, fiyatlarının yüksek olması yanında çok ağır ve robot uygulamaları için yavaş olması, bu alanda kullanılmasını imkansız kılmıştır. Günümüzde iki boyutlu olarak mesafe ölçümü yapan sensörlere, tarama eksenlerinden farklı olarak ek bir dönme eksenini daha yaratmak suretiyle, üçüncü tarama boyutu kazandırılmakta ve robot uygulamalarında kullanılabilirler. Literatürde oldukça yaygın olarak kullanılan bu yöntemde ise tarama platformunda kullanılan mekanizmaların görüş açısını oldukça sınırlandırdığı ayrıca tespit edilmiş ve daha yüksek görüş açısı için uygun tarama mekanizmasının geliştirilmesi bu makalede belirtildiği gibi tamamlanmış ve uygulanmıştır.



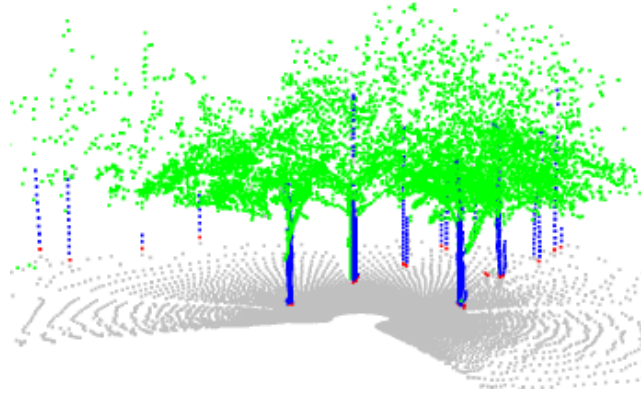
Şekil 1. Araştırma Aracı Marge [2]

180° görüş açısına sahip, iki boyutta derinlik verisi sağlayan SICK LMS serisi mesafe bulucular, robotik platformlarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Tarama ekseninden farklı olarak, bu mesafe ölçücülere sağlanan ek bir dönme eksenini, mekanizmanın izin verdiği ölçüde görüş açısını üçüncü boyutta sağlamaktadır. Bu sensörlerin dış ortamda kullanılabilir olması ve uzun menzili bu alanda popüler olmasına sebep olmuştur.



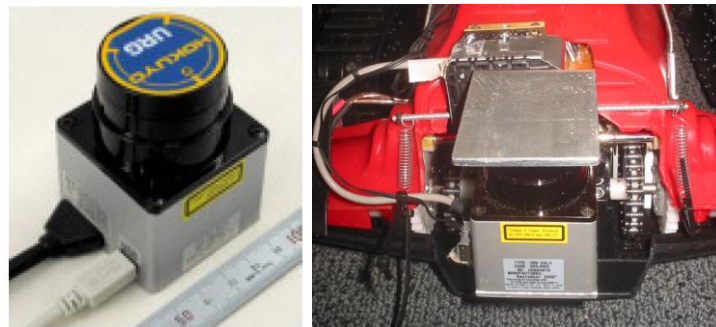
Şekil 2. Üç Boyutlu Mesafe Bulucu [3]

Literatürde de yaygın olarak çalışmaları yapılmış olan SICK LMS serisi sensörlere farklı eksenlerde sağlanan dönme kabiliyetleri ihtiyaç duyulan görüş açısını daha da iyileştirme amaçlıdır.



Şekil 3. Sick LMS Serisi Üç Boyutlu Veri Bulutu Görüntüsü [3]

Dönme eksenleri ne kadar değiştirilirse değiştirilsin, mekanizma tarafından 360°'lik tam bir dönme kabiliyeti sağlanmadıkça, görüş açısını arttırmak mümkün değildir. SICK LMS serisi mesafe bulucuların yanında, son yıllarda, iç ortamlarda oldukça yaygın olarak HOKUYO URG serisi mesafe bulucuları kullanılmaktadır.



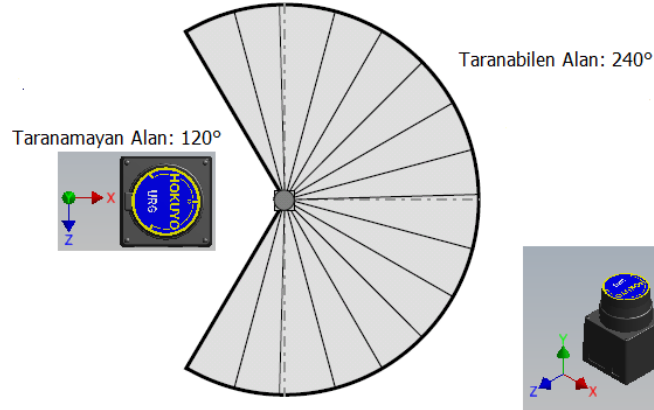
Şekil 4. HOKUYO URG-04LX ve Redpack [4]

HOKUYO URG serisi mesafe bulucuları SICK LMS serisinden farklı olarak iki eksende 240°lik görüş açısı ile tarama yapmaktadır. Bunun yanında SICK LMS serisine göre oldukça hafif ve boyutlarının küçük oluşu, boyutsal olarak birçok robot platformunda kullanılabilirliğini arttırmıştır. Tüm bu avantajlarının yanında, HOKUYO URG-04LX (Şekil 4) mesafe bulucunun dış ortamda kullanıma, güneş ışığının olumsuz etkileri sebebi ile uygun olmaması ve etkin ölçüm uzaklığının 4000 mm ile sınırlı olması uygulama alanını daraltmaktadır.



Şekil 5. HOKUYO URG-04LX ile Üç Boyutlu Tarama [5,6,7]

Üç boyutlu veri bulutunu daha büyük bir görüş açısı ile elde etmek için, HOKUYO URG serisi mesafe bulucular tarama eksenlerinden farklı olarak diğer bir eksende döndürülmüş ve bu çalışmalar literatürde de yer bulmuştur. Bu çalışmalar incelendiğinde, kullanılan dönme mekanizmasının belirli bir açıya kadar döndürülebildiği ve daha sonra mevcut kablo bağlantıları sebebi ile geri döndürülmek zorunda olduğu görülmüştür.



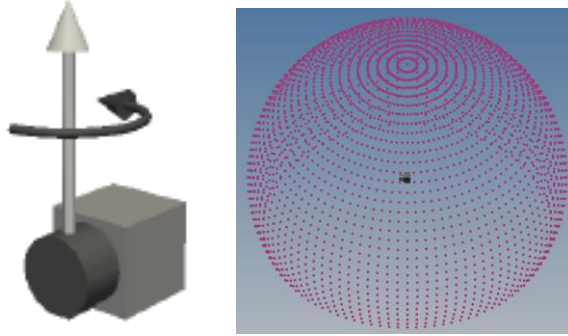
Şekil 6.HOKUYO URG-04LX Tarama Alanı [8]

240° lik görüş açısı ile iki eksende tarama kabiliyetine sahip HOKUYO UR-04LX sensörü kullanılarak ve tarama ekseninden farklı olarak bir dönme eksenini tanımlanarak üç boyutlu bir tarama yapmak mümkün gözükmetedir. 120°lik taranamayan alan ise ayrıca üzerinde düşünülmesi gereken ve tasarım kriterlerinde yer alması gereken bir husustur.

2. SİSTEM TASARIMI

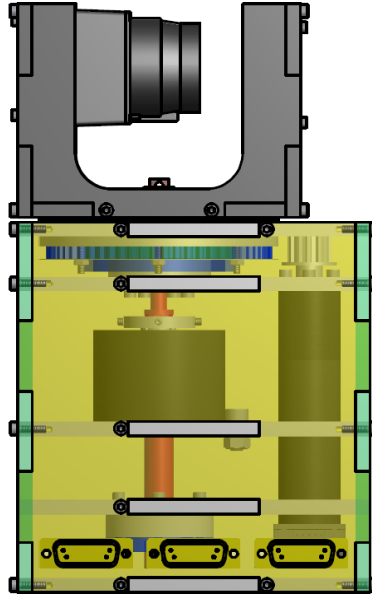
Üç boyutlu tarama platformu tasarımımda kullanılacak sensör HOKUYO UR-04LX olarak seçilmiştir. Mobil robotların daha çok iç ortamlarda kullanılması ve boyutlarının küçük olması bu seçimde etken rol oynamakla birlikte, HOKUYO'nun sahip olduğu 240°lik görüş açısı asıl seçim sebebini oluşturmaktadır.

Mesafe bulucunun yerleştirilme eksenini, tarama platformu için oldukça kritiktir. Taranamayan 120°'lik alan altta kalacak şekilde yerleşim yapılmış ve Şekil 7'de gösterildiği gibi sensörün kendi tarama ekseninden farklı bir dönme eksenini sağlayarak üç boyutlu tarama kabiliyeti kazandırılmıştır.



Şekil 7. Mesafe Bulucunun Yerleştirilmesi

Tarama platformuna, literatür çalışmalarına yansıyan tasarımlarda sağlanamayan sürekli dönme kabiliyeti sağlanmış ve buna ek olarak yüksek hızlarda da tarama kabiliyeti verilmiştir. Tüm bunlara ek olarak, geliştirilen tasarım, mesafe bulucunun tarama pozisyonunun yüksek hassasiyette bilinmesine imkan tanımıştır. Gerektiğinde taranacak hacmin seçilebilmesi, gerektiğinde ise daha yüksek çözünürlükte tarama imkanı sağlaması tarama platformunun ek özellikleri arasında yer almaktadır.



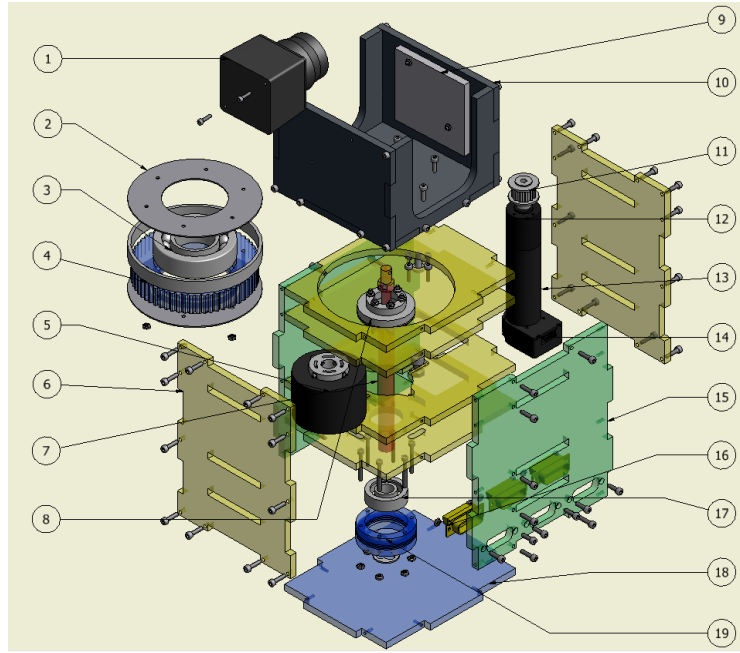
Şekil 8. Tarama Platformunun CAD Modeli

Tarama platformu yukarıda bahsedilen tasarım kriterleri göz önüne alınarak CAD ortamında tasarlanarak çizilmiştir. Eldeki üretim imkanları göz önünde bulundurularak yapılan tasarımda, tüm parçaların (şaft mili hariç) lazer kesimde uygun boyutlarda kestirilerek, alıştırma işlemleri sonrası kolayca montajının yapılabileceği şekilde bir tasarım düşünülmüştür.

Yapılan tasarımda "slipring" ve motora bağlı bir enkoder, mesafe bulucunun amaçlanan tarama kabiliyetini yerine getirebilmesi için kritik öneme sahiptir. "slipring" dönme hareketi sırasında elektriksel bağlantıları dönen platforma kadar iletmekte ve 500 rpm hıza kadar sağlıklı bir biçimde çalışabilmektedir. Dönme sırasında herhangi bir kesinti olmadan ve her iki yönde de başarı ile dönerken elektriksel aktarımı yapabilmektedir. Enkoder ise platformun 360°'lik tek bir dönüşü için 190000 "pulse" üretmekte ve yüksek hassasiyette açısal pozisyon verisi sağlayabilmektedir.

Motor ve elemanları (dişli, enkoder), "slipring" ve şaft miilinin sağ yanında kalacak şekilde (Şekil 8) yerleştirilip kayış kasnak ile sensörün monte edildiği dönebilen platforma bağlanmıştır. Bu sayede platform şaft mili kullanılarak doğrudan sürülmemiş, kayış kasnak yöntemi ile yan ve üst taraftan tahrik edilmiştir. Bu da tarama platformunun yüksekliğinin kayda değer şekilde azalmasına imkan tanımıştır. Kayış kasnak zamanlı tipte seçilmiş bu sayede enkoder verisinin redüksiyon oranı göz önüne alınarak birebir uyuşması sağlanmıştır.

Eksenel ve radyal yükleri alabilmesi için FAG marka 62 serisi rulmanlar kullanılarak, düşük sürtünme kuvvetleri ve uzun ömür gibi tasarım kriterleride göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 9. Patlatılmış CAD Modeli

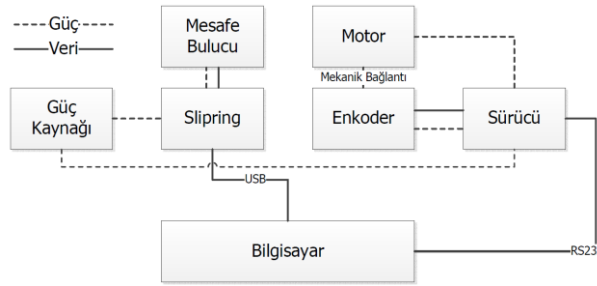
Şekil 9'da patlamış CAD modeli gösterilen tarama platformunun önemli olduğu düşünülen parçalarının listesi aşağıdaki gibidir:

1. Hokuyo URG-04LX mesafe bulucu,
2. Kayış kasnak destek pulu,
3. Rulman, FAG 6206,
4. Kasnak, 60 diş, T5 adım,
5. 6 kanallı slipring,
6. Tarama platformu yan desteği,
7. Şaft Mili,
8. Rulman yatak pulu,
9. Denge ağırlığı,
10. Mesafe bulucu yerleşim platformu,

11. Kasnak, 12 diş, T5 adım,
12. Motor dişlisi,
13. Fırçalı DC motor,
14. Enkoder,
15. Tarama platformu desteği,
16. d-sub 15 pin konektör,
17. Rulman, FAG 6201,
18. Tarama platformu desteği,
19. Rulman yatak pulu.

3. UYGULAMA

Mesafe bulucu "slipring" üzerinden ihtiyaç duyduğu elektriksel gücü alırken, topladığı mesafe verilerini yine "slipring" üzerinden bilgisayara göndermektedir. Motor sürücüsünde aynı güç kaynağından beslenerek motor ve enkodere elektriksel güç sağlamakta aynı zamanda enkoderden gelen pozisyon verisini de bilgisayara aktarmaktadır. Motor bir potansiyometre yardımı ile sürücü üzerinden voltaj modunda sürülmektedir. Tarama platformunun elektriksel bağlantı şeması Şekil 10'da gösterilmiştir.



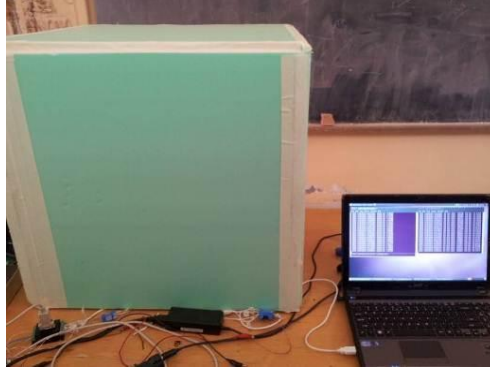
Şekil 10. Tarama Platformu Bağlantı Şeması

Üç boyutlu tarama platformunun ilgili elektriksel bağlantıları yapılmış, CAD ortamında tasarlanan parçalar üretilmiş ve montajı tasarlandığı gibi yapılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Üç Boyutlu Tarama Platformu

Platformun en alt destek parçası pleksiglas yüzeyine monte edilmiş ve bu sayede bir robot platformuna montajı simule edilmiştir.



Şekil 12. Kontrol Ortamı

Tarama platformu bağlantılarını, montajını ve çalışan mekanik aksamlarını işlevsel olarak doğrulamak amacı ile, Şekil 12'de gösterilen 60cmx60cmx60cm'lik ± 1 toleransı ile bir kutu üretilmiş ve bu kutu üç boyutlu olarak taranarak sonuçlar analiz edilmiştir. Bu tarama ile toplanan üç boyutlu derinlik verisi, enkoderden gelen yüksek çözünürlükte pozisyon verileri ile senkronize olarak alınarak kartezyen koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm için kullanılan formülizasyon aşağıdaki gibidir:

$$x_i = r_i \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \quad (3.1)$$

$$y_i = r_i \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta \quad (3.2)$$

$$z_i = r_i \cdot \sin \alpha \quad (3.3)$$

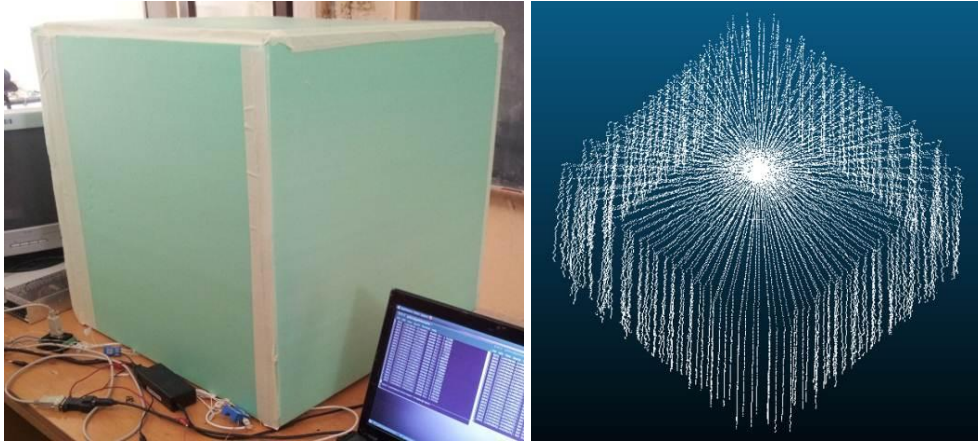
Sembol açıklamaları aşağıda verilmiştir:

r : Mesafe bulucu tarafından gönderilen derinlik verisi (mm),

α : Mesafe bulucu tarama açısı (radyan),

β : Tarama platformunun dönme açısı (radyan).

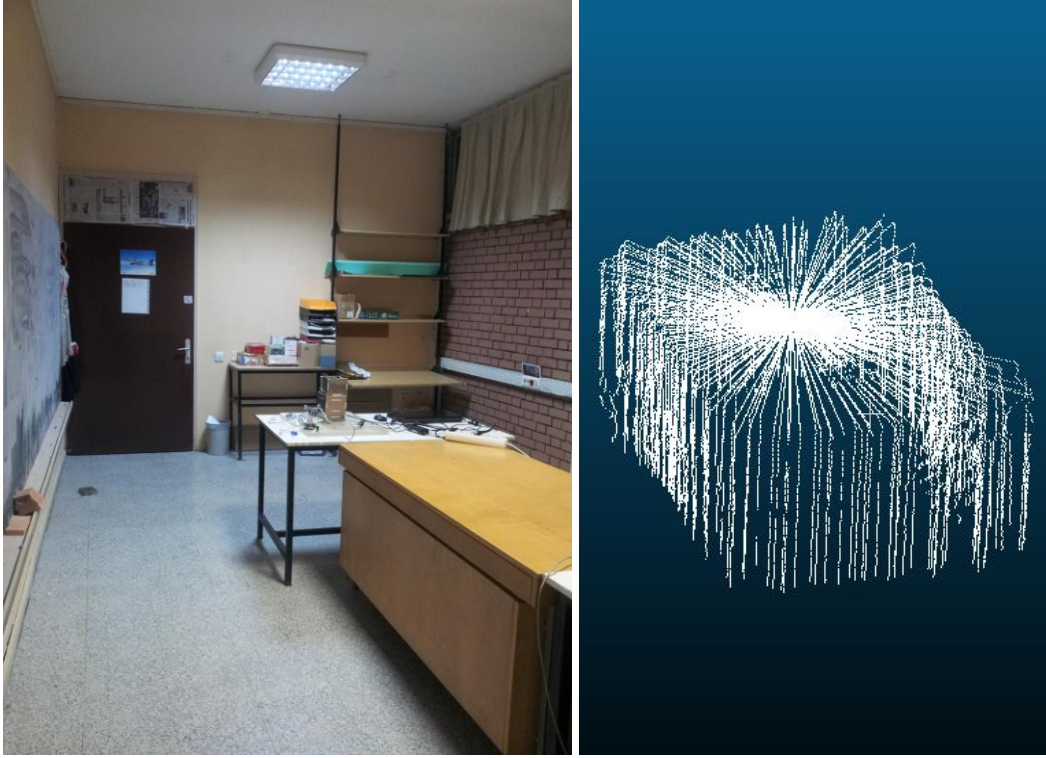
Bahsi geçen enkoder pozisyon verisi ve mesafe bulucu tarafından gönderilen derinlik verisi Linux Ubuntu arayüzü ile çalışan bilgisayarda ROS (Robotic Operating System) tabanlı bir yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler denklem (3.1), denklem (3.2) ve denklem (3.3) kullanılarak Matlab'da işlenmiş ve uygun çizim programında çizdirilmiştir.



Şekil 13. Kontrol Ortamı ve Çizdirilmiş Üç Boyutlu Derinlik Verisi

Dönüşüm formülüzasyonu ile her nokta için elde edilen x,y ve z değerleri kullanılarak kutunun üç boyutlu olarak çizimi uygun yazılım programı kullanılarak çizdirilmiş ve Şekil 13'de gösterilmiştir. Çizdirilen derinlik verisi incelendiğinde şekil olarak kontrol ortamıyla oldukça fazla uyuşan bir çizim ortaya çıkmışsa da, köşe ve kutu yüzeylerinde aynı çizgi üzerinde olmayan verilerin olduğu görülmektedir. Bu durum sonuç bölümünde ayrıca irdelenecektir.

Kontrol ortamına ek olarak Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü 'nde yer alan bir koridor ayrıca taranmış ve Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 14. Kontrolsüz Ortam Taraması ve Çizimi

Kontrolsüz ortam taraması incelendiğinde ise mesafe bulucunun etki alanı dışında kalan görüş açısı için herhangi bir veri gelmediği ve önu açık bir alan olarak çizdirildiği gözükmemektedir. Bunun yanında hatalı verilerin geldiği de ayrıca tespit edilmiştir.

4. SONUÇ

İki boyutta 240° görüş açısına sahip bir adet laser mesafe bulucu kullanılarak 360°'yi sürekli dönerek kesintisiz tarayabilen üç boyutlu tarama platformu tasarlanmış, üretilmiş ve işlevsel olarak denenmiştir. Kullanılan cihazlar ile platformun dönme açısı için 360°/190000 'lik bir çözünürlük değeri ve sensörün kendi teknik özelliğinden gelen 360°/1024 lük çözünürlük değeri ise sensörün tarama ekseninde ayrıca sağlanmıştır.

Kullanılan "slipping" sayesinde uygun bir motor ile 500 rpm'e kadar çıkabilen tasarım oldukça yüksek hızlarda, kısa sürede etkin bir taramaya imkan kılmaktadır. Mevcut tarama platformunda, laboratuvarında mevcut bulunan, 450 rpm'e kadar çıkabilen bir fırçalı DC motor kullanılmış, kayış kasknak redüksiyon oranı sebebi ile bu değer 90 rpm'e kadar düşmüştür. Tarama platformunun özgün tasarımı sayesinde kullanılan mesafe bulucunun ve motorun daha iyi bir model ile

değiştirilmesi ile hem derinlik ölçüm mesafesi artırılabilen hem de dönüş hızı 500 rpm'e kadar yükseltilebilmektedir.

Platformun taban destek plakasının değiştirilmesi veya modifiye edilmesi ile istenilen her türlü robot platformuna montajı kolayca yapılabilecek bir sistem tasarlanmıştır. Tamamı alüminyum malzemeden (şaft mili ve civata-somun hariç) üretilmiş olup, tarama platformunun tüm ağırlığı 5000 gr'dan azdır. Bu değer sadece iki boyutta tarama yapabilen SICK LMS serisi mesafe bulucunun tek başına ağırlığı kadardır.

Kontrollü ve kontrolsüz ortam taramalarında elde edilen çizim sonuçlarında görülen hatalar, HOKUYO URG-04LX mesafe bulucunun ± 10 mm doğrulukta ölçüm yapabilmesinden kaynaklanmakla birlikte, yüzeylerden kaynaklı ekstra yansımalarda gelen verinin doğruluğunu olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun yanında kullanılan dönüşüm formülünün senkronizasyonunda da farklı yaklaşımların geliştirilmesi kontrol ortamı ile daha iyi uyuşacak verilerin gelmesine olanak tanıyacaktır.

Sonuç olarak, $240^\circ \times 360^\circ$ görüş açısına sahip 90 rpm dönüş hızına çıkabilen, yüksek çözünürlükte kontrol sağlayabilen, gerektiğinde özel bir tarama alanına uygun yazılım ile yönlendirilebilen, ihtiyaç halinde daha iyi mesafe bulucular ile mevcut bulucunun değiştirilmesi yoluyla tarama imkanı sağlayabilen üç boyutlu tarama platformu tasarlanmış, üretilmiş ve denenmiştir.

5. KAYNAKÇA

- [1] NITZAN, D., Three-dimensional vision structure for robot applications, **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence PAMI-10**, pp. 291-309, May 1988.
- [2] JOHN F. Ready. **Industrial Applications of Lasers**, Academic Press, New York, 1997.
- [3] CHRISTIAN B., OLIVER W., BERNARDO W., Using 3D Laser Range Data for SLAM in Outdoor Environments, **Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems Las Vegas, Nevada, October 2003**
- [4] RAYMOND S., NAWID J., M. WALEED K., CLAUDE S., **A Low - Cost, Compact, Lightweight 3D Range Sensor**, School of Computer Science & Engineering The University of New South Wales Sydney, Australia, 2006
- [5] TATSURO U., HIROHIKO K., TETSUO T., AKIHISA O., SHIN'ICH Y., **Visual Information Assist System Using 3D SOKUIKI Sensor for Blind People**, Intelligent Robot Laboratory, University of Tsukuba, 2006
- [6] ANDREW ALAN C., **Development of an Obstacle Detection System for Human Supervisory Control of a UAV in Urban Environments**, Department. of Mechanical Engineering, Virginia Tech, December 4, 2007
- [7] ANDRES E. MORA V.S, KENZUKE M., DAISUKE E., ERIC R., KEIJI N.I, KAZUYA Y., **Development of a Networked Robotic System for Disaster Mitigation**, Department of Aerospace Engineering Tohoku University, Sendai, Japan, 2006
- [8] Hokuyo, <http://www.hokuyo-aut.jp/index.html>, Son Erişim Tarihi: 01.06.2012
- [9] ROS (Robotic Operating System), <http://www.ros.org/wiki/>, Son Erişim Tarihi: 01.06.2012