

Esnek Algılayıcı Kontrollü Robot El Tasarımı ve Gerçeklenmesi Üzerine Bir Çalışma

A Study on the Robot Hand Design and Implementation Based on Flexible Sensor Controlled

¹İbrahim Gökbayrak, ^{*2}Sinan Serdar Özkan, ³Durmuş Karayel and ⁴Gökhan Atalı
^{*1,2,3}Faculty of Technology, Department of Mechatronic Engineering Sakarya University, Turkey
⁴Vocational School of Sakarya, Sakarya University, Turkey

Öz

Dünya genelinde artan yalın üretim sistemlerinin gelişmesinde şüphesiz en önemli değere sahip olan girdilerden birisi de robotik çalışmalardır. Robotik çalışmalar sayesinde üretimde oluşabilecek hata payları ve kaza oranları en aza indirilerek üretimler gerçekleştirilebilmektedir. Endüstriyel yapıdaki robotların insansı robotlar (humanoid) üzerine yoğunlaşmasını takiben üretimde hassasiyet ve kalite her geçen gün artmaktadır. Bu yaklaşımla, robot manipülatörlerinin zamanla insan eli yapısına olan benzerliklerinin artması gözlemlenmektedir.

Bu çalışmada, eldivene monte edilmiş esneklik sensörleri yardımıyla insan elinden alınan konum bilgileri ile mekatronik tabanlı robotik elinin kontrolü sağlanmıştır. İnsan el parmaklarının açılma hareketlerini algılanarak bir mikrodenetleyici tarafından işlendikten sonra servo motorlar yardımıyla robot elin kontrolü sağlanmıştır. Çalışma sonunda ortaya çıkan robot el ile insan için tehlikeli ortamlarda manipülasyon işlemlerini uzaktan kontrol etmek amaçlanmıştır.

Keywords: Robot el, Flex sensör, Esnek algılayıcı kontrolü, Arduino

Abstract

One of the development of lean production system that has increasingly entered the world without a doubt the most important values are also robotic work. Tolerance of error and accident rates that may occur in production can be achieved by minimizing thanks to robotic studies. The industrial structure of the robot when focus on humanoid robots (humanoid), manufacturing precision and quality are increasing every day. With this approach, similar to the rise of the robot once the structure of the human hand manipulator is observed.

In this study, control of mechatronic robotic hand has been achieved with acquisition human hand position data which due to the elasticity sensors that assembled to glove. After being processed by a microcontroller detects the angular motion of human fingers, servo motors control the robot hand is provided. At the end, the resulting robot hand is intended to remotely control the manipulation process for people in hazardous environments.

1. Giriş

İnsan eli kavrama, sıkma, gevşetme, hissetme vb. işlevleri mükemmel bir düzeyde yapmaktadır ve robot manipülatörlerinin tasarımında bu özellikleriyle çok iyi bir örnek oluşturmaktadır. Hareketli birçok eklem bir araya gelmesi ile oluşan elektro-mekanik bir sistem olan robot ellerin ilham kaynağı insan elidir. Bu sistemlerde hareket, mekanik yapıyla tahrik ve kontrolü sağlayan elektrikli parçalar vasıtasıyla sağlanır. Konu ile alakalı literatür incelendiğinde araştırmalar en genel manada insan elinin kinematik yapısına benzer robotik çalışmalar yönündedir.

İnsan eli birbirinden farklı kavrama ve duruş durumları için 4 pasif olmak üzere 24 serbestlik derecesine sahiptir. Kavrama işlemlerinin gerçekleşmesi için sırasıyla, eklemlere bağlı tendonlar, kaslar ve uyaran sinirler tarafından gerçekleşir. Günlük yaşantımızdaki aktivitelerimizin çok büyük bir kısmını karşılamak için, 5-6 farklı hareket yeterli olmaktadır. Bu hareketleri gerçekleştirebilmek için 5 serbestlik derecesi yeterli olmaktadır. Cobos ve arkadaşları çalışmalarında insan eli hareket kabiliyetlerinin kinematiklerini incelemiş ve bu hareketlere dair denklem takımlarını sunmuşlardır [1]. Endüstriyel tutucuların çoğu genellikle iki ya da üç parmaklıdır. Tek tip kavrama gerçekleştirilmekte, tek tahrikle kontrol edilmektedir. Bu tip sistemlerin kontrolü ve tasarımı kolay olabilmekte ama esnekliği yeterli olmamaktadır.

Lan ve arkadaşları çalışmalarında iki parmaklı bir insanın kavrama yapma becerisini tekrarlayan bir mikro tutucu sistemi SMA kullanarak gerçekleştirmişlerdir [2]. Ryew ve Choi çalışmalarında parmakların hareketlerinin 3 boyutlu olarak gerçekleştirilebilmesi için 2 serbestlik derecesine sahip bir eklem tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Bu tasarım sayesinde parmak hareketleri insan parmak hareketlerine daha da benzemekte olduğu çalışmada anlaşılmıştır [3]. Malegam ve D'Silva ise çalışmalarında kol hareketlerini ve parmak hareketlerini bir önceki kaynakta belirtilen yöntemle benzer bir yöntemle taklit etmeye çalışan bir sistem tasarlanmışlardır [4]. Hafiane ve arkadaşları el hareketlerinin algılanması için bilgisayarlı görü teknikleri kullanılmış ve elin 3 boyutlu modelini çıkararak SURF özellik çıkarma yöntemiyle el hareketlerini belirlenmişlerdir. Bu sayede teleoperasyon yani uzaktaki bir işlemin gerçekleştirilmesini amaçlamışlardır [5]. Kappasov ve arkadaşları çalışmalarında robot elin çalışması sırasında geri bildirim alınabilmesi için kullanılan yöntemleri detaylı olarak incelemiş ve bu yöntemler hakkında bilgiler sunmuşlardır [6]. Zhe Xu ve Emanuel Todorov, Washington üniversitesinde antropomorphik robotik el tasarımı çalışmasında bulunmuşlardır. Çalışmalarında insan elinin eklem yapısına uygun bir robotik el tasarımı sunmuşlardır [7]. Kiyoshi Hosino, Tsukuba Üniversitesinde yüksek hız ve doğrulukta taklitçi robot el çalışmasında bulunmuştur. Çalışmasında yüksek hassasiyette hata payını azaltmak için PD kontrolü kullanmıştır. [8]. Abidhusain Syedi ve arkadaşları yeni nesil mikrodenetleyiciler kullanarak eğitim amaçlı bir robotik el tasarımı gerçekleştirmişlerdir [9]. Jayant Y. Hande ve arkadaşları çalışmalarında flex-sensör ve servo motorlardan oluşan antropomorphik robotik el tasarımı gerçekleştirmişlerdir. [10].

2. Kavramsal Tasarım

Gerçekleştirilen robot elin optimum düzeyde olması amacıyla öncelikli olarak kavramsal tasarım uygulanmıştır. Kavramsal tasarım aşamaları için öncelikli alanlar ise şu şekildedir;

- Geometri; Protez El ölçü parametreleri mümkün olduğunca insan eli ölçü parametrelerine uyarlanmalıdır.
- Enerji; Sisteme 6V – 9V arası voltaj ve 2,5A – 3A arası akımlık bir besleme verilmelidir.
- Çalışma Şekli ve Şartları; Sistem insan elinden alınacak hareket girdileri ile tamamen manuel olarak kontrol edilmelidir.
- Maliyet; Sistem olabildiğince ucuza mal edilmelidir.
- Emniyet; Sistem kullanıcıya ve çevreye zarar vermeden çalışabilmelidir.

Kavramsal tasarımda 5 alt fonksiyon belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla; eldiven tasarımı, servo motor veri sinyali devreleri, kablolu haberleşme, sensör geri besleme sistemi, mikroişlemci programlama. Belirlenen öncelikli alanlar ve alt fonksiyonlar düşünüldüğünde oluşturulan çözüm varyantları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kavramsal tasarım çözüm varyantları

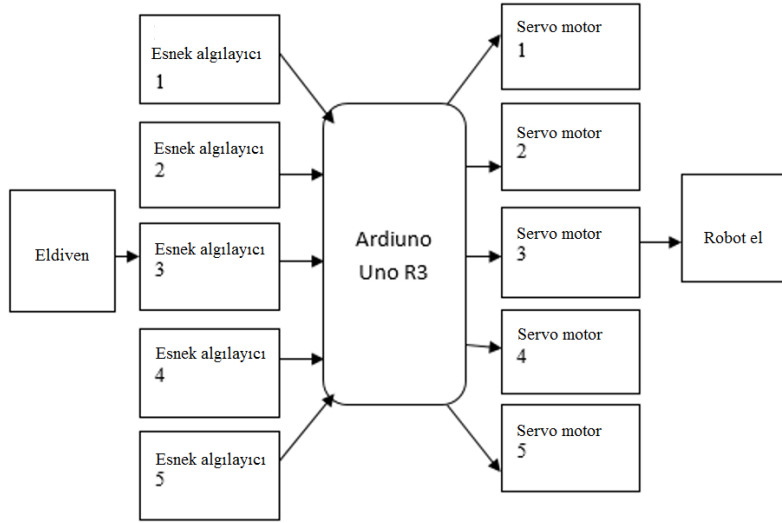
	Alt Fonksiyon	1	2	3	4
1	Elektrik	Elektrik motoru	Step motor	Servo motor	Hidrolik motor
2	Mekanik	Hidrolik pompa	Misina	Metal Tel	
3	Kontrol	Arduino	PLC	Raspberry-pi	İntel Galileo Gen
4	Malzeme	Metal	Ahşap	Sert plastik	
5	Sensör	Flex			

Kavramsal tasarımı gerçekleştirilen robot el uygulamasına ait varyantlar yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

- ✓ VARYANT 1: 1.1 – 2.3 – 3.2 - 4.1 – 5.1
- ✓ VARYANT 2: 1.4 – 2.1 – 3.2 - 4.1 – 5.1
- ✓ VARYANT 3: 1.3 – 2.3 – 3.3 - 4.2 – 5.1
- ✓ VARYANT 4: 1.3 – 2.2 – 3.1 - 4.3 – 5.1
- ✓ VARYANT 5: 1.3 – 2.2 – 3.4 - 4.3 – 5.1

Bu beş varyant incelendiğinde; tüm işlevlerle uyumluluk, şartname isteklerini karşılama, prensipte gerçekleştirilebilirlik, müsaade edilebilir maliyet, emniyet şartlarını doğrudan karşılama, tasarım ve yeterli bilgi açısından 4.varyantın diğer varyantlara oranla uygun olduğu kanısına varılmış ve çözüm için bu varyant uygulanmıştır.

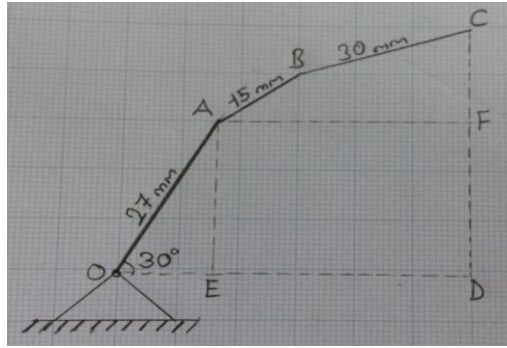
Kavramsal tasarım sonucunda gerçekleştirilecek mekatronik sisteme ait giriş elemanı esneklik sensörlerinden oluşan eldiven, çıkış elemanları ise servo motorlar olarak belirlenmiştir. Giriş ve çıkışlar arasında sistemin kararlı bir şekilde çalışmasını ve kontrolünü sağlamak amacı ile yeni nesil mikro denetleyici platformlarından Arduino tercih edilmiştir. Bu sayede geniş bir manüpülasyon kabiliyetini ekonomik açıdan uygun bir şekilde üretebilmek mümkün olmuştur. Sistemin oluşturulmasında kullanılan giriş, çıkış ve sistem elemanları blok diyagram şeklinde Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Sistem elemanları blok diyagramı

3. Konum Analizi

İnsan el parmaklarında başparmak 2 uzumlu ve diğer parmaklar 3 uzumludur. Başparmak harici diğer parmaklarda işaret parmağıyla aynı uzuv sayısına sahip olduklarından konum analizleri aynıdır. Burada işaret parmağının konum analizindeki uç uzuv çıkarılıp uzuv sayısı 2 ye düşürülerek başparmağın da konum analizi yapılabilir. Şekil 2’de işaret parmağına ait konum analizi verilmiştir.



Şekil 2. İşaret parmağı konum vektörü

$OA=27\text{mm}$, $AB=15\text{mm}$, $BC=30\text{mm}$, $OD=40\text{mm}$, $DC=54\text{mm}$ olduğu kabul edilirse θ_{AB} ve θ_{BC} açılarının hesabı şu şekilde yapılmaktadır;

$$OD + DC = OA + AB + BC$$

$$40i + 54j = 27 * (\cos 30i + \sin 30j) + 15 * (\cos \theta_{AB}i + \sin \theta_{AB}j) + 30 * (\cos \theta_{BC}i + \sin \theta_{BC}j)$$

$$40 = 27 * \cos 30 + 15 * \cos \theta_{AB} + 30 * \cos \theta_{BC}$$

$$54 = 27 * \sin 30 + 15 * \sin \theta_{AB} + 30 * \sin \theta_{BC}$$

$$OE = 27 * \cos 30 = 23.4 \text{ mm}$$

$$AE = 27 * \sin 30 = 13.5 \text{ mm}$$

$$ED = AF = OD - OE = 40 - 23.4 = 16.6 \text{ mm}$$

$$FC = DC - DF = 54 - 13.5 = 40.5 \text{ mm}$$

$$AC = \sqrt{AF^2 + FC^2} = \sqrt{16.6^2 + 40.5^2} = 43.8$$

$$\tan \alpha = CF / AF = 40.5 / 16.6 \implies \alpha = 67.7^\circ$$

$$BC^2 = AB^2 + AC^2 - 2 * AB * AC * \cos \beta$$

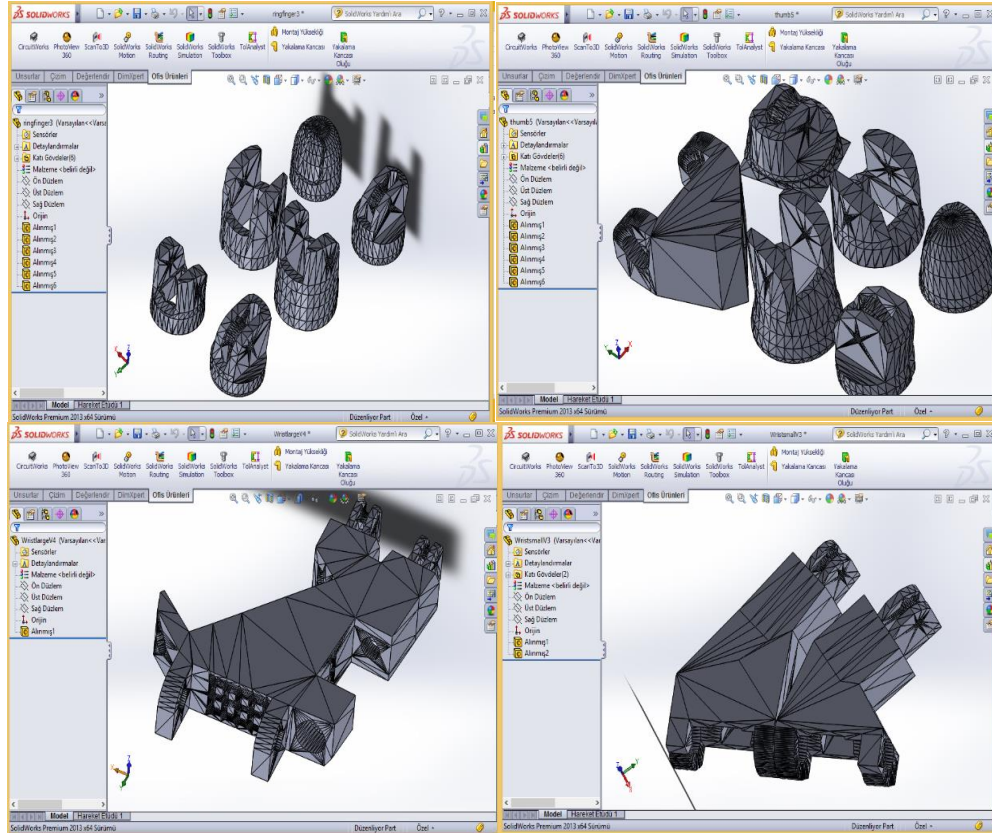
$$30^2 = 15^2 + 43.8^2 - 2 * 15 * 43.8 * \cos \beta \implies \beta = 18.9^\circ$$

$$\Theta_{AB} = \alpha + \beta = 67.7 + 18.9 \implies \Theta_{AB} = 86.6^\circ$$

$$40 = 23.4 + 15 * \cos(86.6) + 30 * \cos \Theta_{BC} \implies \Theta_{BC} = 58.4^\circ$$

4. Tasarım

Projede protez elin katı model çizimleri CAD programında çizilmiştir. Çizilen parçalar .stl uzantısına dönüştürülerek 3D yazıcıda basıma hazırlanmıştır. Protez elin teknik resim detayları için inmoov sitesinden yararlanılmıştır. Şekil 3'te tasarım aşamasında oluşturulan parçalara ait görsellere yer verilmiştir.



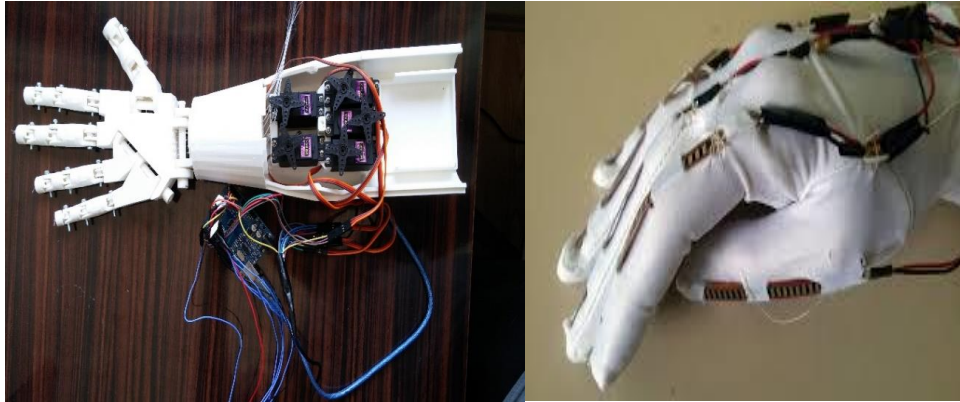
Şekil 3. Robot el parçalarının tasarımları

Tasarımı gerçekleştirilen parçaların 3D yazıcı ile çıktıları alınmış ve montaja hazır hale getirilmiştir. Şekil 4'te gösterilen şekliyle baskısı alınan parçaların montajında belirlenen bölgelere servo motorlar konulmuştur.



Şekil 4. 3D yazıcı parça çıktıları

Mümkün olduğunca ergonomik hareket dikkate alınarak tasarımı yapılan robot ele ait 3D yazıcı çıktı parçalarının montajlanmış hali Şekil 5'te verilmiştir. Çalışmada sonucu oluşturulan bu robot el insan eline yakın eklem hareketleri gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca PLA malzemeden üretilmiş olması da robot elin taşınabilirliği açısından önem arz etmektedir.



Şekil 5. Montajı tamamlanan robot el

Sonuç ve Öneriler

Yapılan testlerde esneklik algılayıcı sensörlerin, insan elinin hareketlerini uygun bir şekilde ölçebildiği görülmüştür. Robot el ile insan eli parmak açılarında %5 oranında açısal farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu farkların en önemli nedeni esneklik sensörlerdeki direnç değişiminin voltaj bölücü prensibiyle okunmasıdır. Bu bakımdan her parmağın eklem yerlerinde bağımsız sensörler kullanılarak sistemin performansı artırılabilir. Bir sonraki aşamada; Robotik elin kontrolünü kablosuz hale getirerek sadece parmak değil insan kolunun bütün hareketlerini taklit edebilecek bir sistem tasarımı gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

Referanslar

- [1] Salvador Cobos, Manuel Ferre, M.A. Sanchez Uran, Javier Ortego and Cesar Pena, "Efficient Human Hand Kinematics for Manipulation Tasks", 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems Acropolis Convention Center, Nice, France, Sept, 22-26, 2008
- [2] Chao-Chieh Lan; Che-Min Lin; Chen-Hsien Fan, "A Self-Sensing Microgripper Module With Wide Handling Ranges," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol.16, no.1, pp.141-50, Feb. (2011) doi: 10.1109/TMECH.2009.2037495
- [3] Ryew, S.; Hyoukryeol Choi, "Doubleactive universal joint (DAUJ): robotic joint mechanism for human-like motions," in IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol.17, no.3, pp.290-300, Jun (2001) doi: 10.1109/70.938386
- [4] Malegam, K.D.; D'Silva, M.S., "Mimicking robotic hand-arm," 2011 Annual IEEE India Conference (INDICON), pp.1-5, 16-18 Dec. (2011) doi: 10.1109/INDCON.2011.6139365
- [5] Hafiane, S.; Salih, Y.; Malik, A.S., "3Dhand recognition for telerobotics," 2013 IEEE Symposium on Computers & Informatics (ISCI), pp.132-137, 7-9 April (2013) doi: 10.1109/ISCI.2013.6612390
- [6] Zhanat Kappassov, Juan-Antonio Corrales, Véronique Perdereau, "Tactile sensing in dexterous robot hands — Review", Robotics and Autonomous Systems, Volume 74, Part A, December (2015), Pages 195-220, ISSN 0921-8890, doi: dx.10.1016/j.robot.2015.07.015
- [7] Zhe Xu and Emanuel Todorov, "Design of a Highly Biomimetic Anthropomorphic Robotic Hand towards Artificial Limb Regeneration"
- [8] Kiyoshi Hoshino, "Copycat Hand - Robot Hand Generating Imitative Behaviour at High Speed and with High Accuracy", Humanoid Robots, New Developments, Book edited by: Armando Carlos de Pina Filho ISBN 978-3-902613-02-8, pp.582, I-Tech, Vienna, Austria, June 2007
- [9] Abidhusain Syed, Zamrud Taj H. Agasbal, Thimmannagouday Melligeri, Bheemesh Gudur, "Flex Sensor Based Robotic Arm Controller Using Micro Controller", Journal of Software Engineering and Applications, 364-366, <http://dx.doi.org/10.4236/jsea.2012.55042>, May 2012
- [10] Jayant Y. Hande, Niket Malusare, Subodh Sawarbandhe, Harshal Darbhe, "Design for Robotic Hand Using Flex-sensor", International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE), page 2846-2850, Volume 4, Issue 12, December 2015