

# Tıbbi Uygulamalar için Özgün Yapılı Haptik Cihaz Tasarımı

## Novel Structural Design of a Haptic Device for Medical Applications

Özgün Selvi<sup>1</sup>, Tunç Bilginçan<sup>1</sup>, Yalkın Kant<sup>2</sup>, and Mehmet İsmet Can Dede<sup>1</sup>

1. Makina Mühendisliği Bölümü,  
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü  
ozgünselvi@iyte.edu.tr, tuncbilginçan@iyte.edu.tr, candede@iyte.edu.tr

2. Makina Mühendisliği Bölümü,  
Dokuz Eylül Üniversitesi  
yalkinkant@gmail.com

### Özetçe

Robotik sistemler hassasiyet gerektiren işlerde gün geçilçe günlük hayatımızın bir parçası olmaya başladı. Bu işler genellikle herhangi bir operatör tarafından yapılamayacak kadar hassasiyet gerektiren işler olduğundan dolayı robotik teknolojiye ihtiyaç vardır. Bir robotik alanı olan Haptik teknolojisi, operatör ile çevrenin etkileşimini kuvvet geri beslemesi ile sağlayarak uygulamanın hassasiyet seviyesini arttırmaktadır. Bugünkü haliyle haptik teknoloji tıbbi operasyonlarda yardımcı sistem olarak ve birçok uzaktan kumandalı operasyonlarında (teleoperasyon) kullanılmaktadır. Aynı zamanda haptik teknoloji askeri ve tıbbi eğitim amaçlı sanal gerçeklik programlarında kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı sistemin hassasiyetini arttırabilecek yapısal olarak yeni bir haptik cihaz tasarlamaktır. Bu kapsamda, önceden gerçekleştirilmiş robot tasarımları araştırıldı ve kavramsal tasarımlar geliştirildi. Sonuç olarak seçilen tasarım sanal ortam da oluşturuldu ve simülasyonu yapıldı, ve ilk prototipi imal edildi.

### Abstract

Robotics is gradually becoming a part of our daily lives as new areas of enhancement are still possible in fine operations. These operations often require precision that may not be achieved by a human operator. Haptics is an area of robotics that adds precision to the operations that interact with the environment by exerting forces as their motion is controlled. Currently, haptic devices find use in assistive surgical robotics and most of the teleoperation systems. These devices are also extensively utilized in simulators to train medical and military personnel. The objective of this work is to design a haptic device with a new structure that has the potential to increase the precision of the operation. Therefore, previously built devices and manipulator structures are reviewed and conceptual designs are configured. Ultimately, a final design is developed and simulated in virtual environment, and a prototype is constructed.

### 1. Giriş

Dokunma duygusu çevrenin anlaşılabilmesi için oldukça önemli bir geri beslemedir. Genellikle dokunma ile görme duygusu işbirliği içinde olduklarında birçok durum için çevremiz hakkında ihtiyacımız olan yeterli bilgiyi sunabilmektedirler. Bu türlü bilgi, robotik arayüzler kullanılarak çevresel veriyi, işi yapan operatöre iletmek için haptik teknolojisinde kullanılmaktadır. Haptik sistemler, uzaktan kumanda operasyonları, bilgisayar destekli tasarımlar, robotik destekli ameliyatlar, uzaktan kumanda ameliyatları, hem askeri hem de tıbbi bilgisayar destekli eğitim programları gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. Haptik teknoloji sayesinde uzaktan kumanda uygulamalarında ve uzaktan kumanda ameliyatlarında kuvvet geri beslemesi ile hassas işler yapılabilmektedir. Ameliyatlardaki hassasiyeti artması sayesinde hastanın iyileşme sürecini iyileştirmektedir ve kısalmaktadır. Eğitim yada sanal gerçeklik uygulamalarında, kuvvet bilgisi sanal gerçeklik bilgisayarı birlikte olabildiğince gerçekçi bir sanal dünya yaratmak için kullanılmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım ortamlarında serbest form modelleme haptik teknoloji sayesinde mümkün olabilmektedir.

Seri haptik robotlar çok geniş endüstride geniş uygulama alanları bulmuş ve çok geniş çalışma alanına sahip olsalar da paralel robotlara göre rijitlikleri azdır ve kuvvet geri besleyebilme kabiliyetleri düşüktür. Büyük olasılıkla en çok bilinen seri haptik cihaz Phantom Haptik cihazdır [1]. Rijitliği arttırmak ve kuvvet geri besleme kabiliyetini yükseltebilmek için paralel haptik robotlara ihtiyaç duyulmuş ve birçok haptik uygulamada kullanılmıştır. Joon-Woo Kim ve gurubu, fazladan bir tahrik içeren Delta tip haptik cihaz tasarlamışlardır [3]. Masaru Uchiyama ve gurubu ise altı serbestlik dereceli haptik arayüz geliştirmişlerdir [2] ve çalışmalarında yönlendirme için yeni bir tip küresel kardan bağlantılı beş kol mekanizması tasarlamışlardır.

Haptik teknolojinin derin okyanuslarda çalışan denizaltılardan, uzay ortamında çalışan robotik uygulamalar uzanan çok geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır. M.Muldera ve gurubu otomatik sektörü için haptik gaz pedalı tasarlamışlar ve testlerini gerçekleştirmişlerdir. Test

978-1-4244-3606-4/09/\$25.00 ©2009 IEEE

sonuçlarına göre haptik gaz pedallı araçları kullanan sürücülerin sürüş kabiliyetlerine oldukça büyük gelişmeler olduğu gözlemlenmiştir [4]. Hong Gee Sim ve gurubu [5] haptik teknoloji destekli, robotik ameliyatlarda kuvvet geri beslemesinin önemi üzerinde durmuşlar ve da Vinci adlı robotik haptik cihazı ortaya çıkarmışlardır. Haptik teknoloji aynı zamanda nano düzeydeki uygulamalar içinde çözüm olmaktadır. Haptik teknoloji hassas nano teknoloji uygulamaları için tasarlanmış ve değişik araştırmacılar tarafından uygulanmıştır [6, 7].

Bu çalışmada yüksek hassasiyet, güvenilirlik, daha yüksek yük taşıma kapasitesi ve zemine yerleştirilmiş tahrik motorlarıyla, öteleme hareketi için R-Cube yapısı ve dönme hareketleri için Hybrid-Spherical yapısıyla yeni bir tür haptik cihazın tasarımı anlatılmaktadır. Cihazın özel R-Cube yapısı birçok kavramsal tasarımın sanal ortamda gerçekleşmesiyle seçilmiş ve son olarak nihai cihaz seçimi tasarlanmış ve üretilmiştir.

## 2. Geçmişteki Çalışmalar

Bu çalışmada ilk adım olarak, kavramsal tasarımları geliştirmeden önce birçok farklı robot incelendi, karşılaştırıldı ve temel üç değişik robot manipülatör türü olan seri, paralel ve hibrit manipülatör tasarımlarından uygun olanları değerlendirildi.

Seri robot kol tasarımları sanayi uygulamaları için en çok kullanılan tür tasarımlardır. Çoğunlukla ardışık eklemlerle birleştirilmiş seri manipülatör omuz, kol ve bilek şeklinde insansı mekanik kol yapısındadırlar. Bu tür yapıdaki tasarımların en dikkat çekici yönleri hacimlerine ve kapladıkları yüzey alanına göre çok geniş çalışma alanları olmasıdır. Açık kinematik yapıları nedeniyle düşük rijitlik, kinematik yapısı boyunca artarak iletilen hatalar ve ağır tahrik motorlarının taşınması zorunluluğu seri manipülatör tasarımının zayıf yönleridir.

Paralel tasarımlı robotlar en az iki kinematik zincirli kapalı döngü mekanizmaları olarak tanımlanabilirler. Paralel manipülatörlerde, sonlandırıcı gövdeye yapıda tahrik elemanı içeren en az iki bağımsız kinematik yapıyla birleştirilmelidir. Paralel tasarımın seri tasarıma göre yüksek hassasiyet, güvenilirlik, rijitlik ve yüksek taşıma kapasitesi gibi belli başlı gelişmiş yanları bulunmaktadır. Tahrik elemanlarının zeminde bulunabilmesi hareket eden uzuvların atalet kuvvetleri düşürülebilmektedir. En kötü özellikleri ise düşük çalışma alanı ve tekil konumlardaki düşük rijitlikleridir.

Hibrit türündeki robot tasarımları basitçe seri ve paralel robot tasarımlarının birleşimi olarak tanımlanabilir. Paralel-paralel, paralel-seri şeklinde birlikte kullanılabilirler. Bu tür tasarım hem seri tasarımın hem de paralel tasarımın üstün yönlerini aynı anda kapsamaktadır.

Literatürde bizim çalışmamız için uygun birçok tasarım bulunmaktadır. Haptik cihazımızı biçimlendirmemiz için bizim için önemli olan öteleme ve dönme hareketleri ayrı olan tasarımlar incelenmiştir.

Temelde üç tür bağımlı hareket türü vardır Güçlü bağımlılık, tam bağımsız, kısmi bağımlılık. Seri manipülatörlerin kısmi bağımlılığı, Stanford manipülatöründe görülebilir.

Bu tür seri manipulatorleri kullanmanın en büyük getirisi, imalat kolaylığı ve paralel robot kol tasarımlarına göre gizli eklem kullanılmamasıdır, tüm eklemler tahrik edilmekte ancak bu avantaj hassasiyet konusunda dezavantaja dönüşmektedir.

Kısmi bağımlı hareketi olan robot kol tasarımlarına örnek olarak Innocenti robot, Tri-Scott ve Lallemand 2- Delta [8] gösterilebilir. Bu tür paralel yapıdaki tasarımların en iyi yönleri, kısmi bağımlı hareket, zemine yerleştirilmiş tahrik elemanları ve buna bağlı olarak hareketli parçaların düşük atalet kuvvetlerinin olması ve kinematik olarak birbirine eklenmeyen hata oranlarıdır. Yapısında çok fazla eklem ve bağlantı elemanları içerdiğinden, üretimi zordur ve seri tasarımlara göre daha düşük çalışma alanları vardır.

Hibrit manipülatör tasarımları yapısal olarak bağımsızdır. Ayrıca öteleme ve dönme hareketleri için farklı manipülatör kullanımının birçok avantajı vardır. Hibrit manipülatörleri şekillendirmek için birçok farklı kombinasyon kullanılabilir.

Öteleme hareketi için Delta, Star, Orhoglide [11], and R-Cube [4] gibi birçok farklı kartezyen manipülatör tasarımı bulunmaktadır. Bunların arasından en belirgin olanı eklemlerinin sadece silindirik mafsalsal olması ve bağımsız hareketleri nedeniyle R-Cube tasarımıdır. Delta manipülatörler paralel haptik tasarımında en çok kullanılan manipülatör tipidir.

Dönme için seri-küresel veya paralel-küresel manipülatörler kullanılabilir. Dönme hareketlerinde kullanılacak seri manipülatör geniş çalışma alanını sağlayacaktır. Hibrit manipülatör ise kinematik hesaplamaların kolaylığını sağlayacaktır.

Bu çalışmada, sadece üç serbestlik derecesi aktif olan altı serbestlik dereceli ve x, y, z de kuvvet geri beslenmeli bir yapı seçilmiştir. Tüm eksenlerde 0.1 mm çözünürlükte, en çok 3 N kuvvet kapasitesinde, 0.8 N devamlı yük altında çalışan tasarım kriterleri belirlenmiştir.

## 3. Kavramsal Tasarımlar

Genel liteartür araştırmasında, haptik cihaz için uygun olabilecek tasarımlar değerlendirilmiş ve birkaç tanesi kavramsal tasarımı inşa edilmiştir.

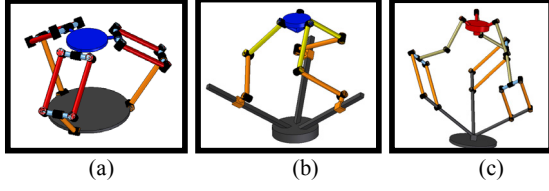
Kavramsal tasarım sırasında robotun seri yada paralel olması gibi genel özellikleri ortaya çıkmıştır ve bilgisayar destekli-tasarım (CAD) ortamında modellemesi yapılmıştır. İlk mekanizmanın Visual Nastran 4D simülasyon programı ile simülasyonu yapılmıştır. Parça seçimleri genel hatlarıyla maliyet analizi yapmamızı sağlamış ve böylelikle nihai tasarım ortaya çıkmıştır.

### 3.1. Delta

Üç serbestlik dereceli delta paralel manipülatörünün sadece üç eklemi aktif, diğerleri pasiftir. Zemine yerleştirilmiş motorlarıyla bağımsız hareketleri vardır. On-yedi bağlantı elemanı, yirmi-bir eklem ile birbirine bağlanmıştır. Düz ve ters kinematik hesapları diğer manipülatörlere göre kolaydır. En belirgin özellikleri, yüksek çözünürlük, kolay kontrol edilebilirlik, yüksek kuvvetler altında istikrarını koruyabilme, hassasiyet, yüksek hızda çalışma, göreceli düşük çalışma alanlarıdır.

### 3.2. Kartezyen Paralel Manipülatör

Kartezyen paralel manipülatör üç serbestlik dereceli yapıdadır. Zemine yerleştirilmiş öteleme tahrik elemanlarıyla bağımsız hareketi vardır. On-bir bağlantı elemanı yirmi eklem tarafından bir arada tutulmaktadır. Düz ve ters kinematik hesapları diğer manipülatörlere göre kolaydır.



Şekil 1. (a) Delta (b) Kartezyen Paralel (c) R-Cube

### 3.3. R-Cube Manipulâtör

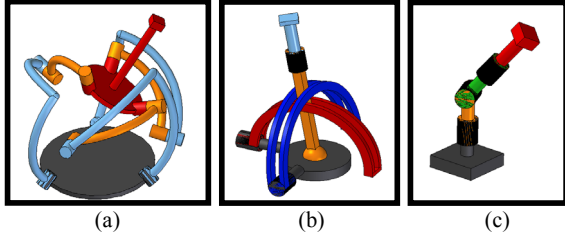
R-Cube manipulatör üç serbestlik dereceli, ana gövdeye yerleştirilmiş, on-yedi adet bağımsız hareketli bağlantı elemanları, yirmi-bir eklemlerle birleştirilmiştir. Düz ve ters kinematik hesapları diğer manipulatörlere göre kolaydır [9].

### 3.4. Agile Eye

Agile Eye üç serbestlik dereceli bağımsız hareketli paralel manipulatördür [10]. Sekiz bağlantı elemanı ve dokuz eklemlerle birbirine bağlanmıştır. Zemine yerleştirilmiş sensörleri vardır. Ters kinematik analizi basittir. Çalışma alanı her yönde  $\pm 30^\circ$  dönme sınırlıdır.

### 3.5. Hybrid-Spherical Manipulâtör

Hybrid-Spherical manipulatör üç serbestlik dereceli, bağımsız hareketli hibrit tür bir manipulatördür. Dört bağlantı elemanı ve altı eklemler kullanılarak birleştirilmiştir. Yapısına göre iki gövde üstünde bir adet gezer sensörleri bulunmaktadır. Düz kinematik analizi kolaydır. Çalışma alanı  $\pm 90^\circ$  (x)  $\pm 90^\circ$  (y)  $\pm 180^\circ$  (z) ile sınırlıdır.



Şekil 2. (a) Agile Eye (b) Hybrid-Spherical (c) Serial-Spherical

### 3.6. Seri Spherical Manipulâtör

Serial Spherical Manipulator bağımsız hareketli üç serbestlik dereceli manipulatördür. Dört bağlantı elemanı üç eklemler tarafından birleştirilmiştir. Ters kinematik analizi zordur ve çalışma alanı tüm yönlerde  $\pm 120^\circ$  dir.

## 4. Nihai Tasarım

Kavramsal tasarımların içinde R-Cube tasarımı haptik cihazımız için uygun bulunmuştur. R-Cube sadece silindirik mafsallardan oluşmaktadır. Silindirik mafsalların ve tasarımın kendi yapısının sadeliği nedeniyle üretimi kolay, üretim süresi kısa ve maliyeti düşüktür. R-Cube tasarımı bağımsız hareketi ve düz ve ters kinematik analizi kolaylığı nedeniyle, dönele hareketleri için Hybrid-Spherical manipulatörlerle birlikte, düşük

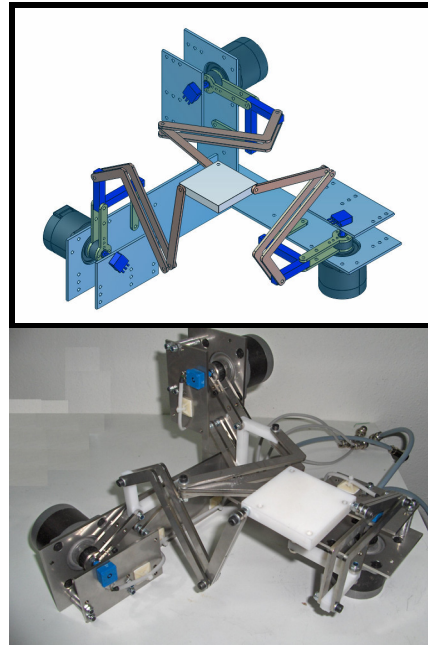
maliyetli yüksek hassasiyette, özgün bir haptik cihaz tasarımıdır.

Nihai tasarımın gerçekleştirilmesi temel üç adımdan oluşmaktadır. 1. Üretime hazır tasarımın oluşturulması 2. Mekanizmanın kontrol altyapısının hazırlanması 3. Elektronik ve mekanik kısımların birleştirilmesi.

Nihai tasarımın ilk aşaması olarak çalışma alanını arttırabilmek için R-Cube tasarımının koordinatları değiştirilmiştir ve bağlantı elemanlarının uzunlukları çarpışmayı önlemek için optimize edilmiştir.

Bağlantı elemanları yüksek kalite paslanmaz çelikten lazer kesme yöntemi ile imal edilmiştir. Diğer bütün malzemeler arasından paslanmaz çelik, düşük maliyetleri, yüksek korozyon ve kuvvet dayanımı nedeniyle seçilmiştir. Eklemlerin oluşturulması için kayar bağlantı düşük maliyet ve kolay birleştirilebilmeleri nedeniyle seçilmiştir. Dönele hareketleri sağlayan mekanizma olarak hibrit küresel mekanizmalı analog bir joystick, prototip tasarım için kullanılmıştır.

Kartezyen koordinat düzeleminin eksenleri, yükün eşit dağılımını bozsada, çalışma alanını arttırmak için değiştirilmiştir. Koordinat ekseninin değiştirilmesinden dolayı, bağlantı elemanlarının ilk eklemleri paralelogramla desteklenmiştir.



Şekil 3. Nihai tasarım

Bu projenin elektronik altyapısı için iki adet kontrol kartı tasarlandı ve imal edildi. İki kart olası elektronik hatalara karşı, optik elemanlar ile elektronik olarak birbirinden ayrıldı. Bu kartların beslenmesi için iki adet birbirinden bağımsız 5V-1A ve 5V 20A şeklinde güç kaynakları ile yapıldı. İki ayrı güç kaynağı kullanılmasının sebebi kontrol için kullanılan mikro-işlemciyi voltaj dalgalanmalarına karşı korumaktır. Mikro-işlemci olarak hem analog hemde dijital sinyalleri desteklemesinden dolayı Pic16f877 seçildi. Analog sinyal, konum geri beslemesinde kullanılan potansiyometrelerden gelen verileri toplamak için kullanıldı.

## 5. Sonuçlar

Literatürde bulunan birçok farklı tür manipülatör tasarımı incelendi. Literatür değerlendirmesi sonucunda kavramsal tasarımlar şekillendirildi. Paralel ve seri manipülatörlerin iyi ve kötü yönleri tartışıldı. Özgün yapıdaki haptik cihaz tasarımı için uygun olabilecek R-Cube ve Hybrid-Spherical manipülatörlerin birleştirilmesi ile hibrit bir tür mekanizma tasarlandı. Olası istenmeyen çarpışmalara karşı simülasyonlar ve optimizasyonlar yapıldı. Bu çalışmaya özel elektronik altyapı Proteus (ISIS)'te tasarlandı ve baskılı devre tekniğiyle üretildi. Son olarak mekanik ve elektronik parçalar birleştirildi.

Sistemin ikinci prototipte geliştirilmesi için bir takım değişiklikler gereklidir. Mekanizmanın haptik cihaz olarak kullanılabilmesi için step motorlar yerine, servo motorlar kullanılmalıdır. Bu şekilde uygulanan kuvvetin ve hareketin paralel bir şekilde kontrolü sağlayacaktır. Kontrol için kullanılan yazılım tüm fonksiyonlarıyla, etkili bir şekilde getirilmelidir. Uygun bir yataklama ile mekanizmanın hassasiyeti artırılmalıdır. Kullanıcı arayüzü uzaktan kumanda ile gerçekleştirilecek ameliyatlar ve ameliyat simülatörleri için geliştirilmelidir.

## 6. Kaynaka

- [1] Thomas H. Massie and J. K. Salisbury, "The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual", *American Society of Mechanical Engineers, Dynamic Systems and Control Division DSC*, Vol. 55-1, pp. 295-299. Nov. 1994.
- [2] Masaru Uchiyama, Yuichi Tsumaki, and Woo-Keun Yoon, "Design of a Compact 6-DOF Haptic Device to Use Parallel Mechanisms", *Springer Tracts in Advanced Robotics*, Springer Berlin / Heidelberg, Volume 28/2007, 2007, 145-162.
- [3] Joon-Woo Kim, Duk-Hee Park, Han-Sung Kim, Sung-Hyun Han, "Design of a Novel 3-DOF Parallel-type Haptic Device with Redundant Actuation", *Control, Automation and Systems*, Oct. 2007, 2270-2273.
- [4] M. Muldera, M.M. Van Paassena and D.A. Abbink, "Haptic gas pedal feedback", *Ergonomics*, vol 51 (issue 11), 2008-Nov, pp 1710-1720.
- [5] Hong Gee Sim & Sidney Kam Hung Yip, Christopher Wai Sam Cheng, "Equipment and technology in surgical robotics", *World Journal of Urology*, Springer Berlin / Heidelberg, Volume 24, Number 2, June, 2006, pp. 128-135.
- [6] F.J. Rubio-Sierra, R.W. Stark, S. Thalhammer, W.M. Heckl, "Force-feedback joystick as a low-cost haptic interface for an atomic-force-microscopy nanomanipulator", *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, Springer Berlin / Heidelberg, Volume 76, Number 6, April 2003, pp. 903-906.
- [7] Marc Jobin, Raphael Foschia, Sébastien Grange, Charles Baur, Gérard Gremaud, Kyumin Lee, Laszlo Forró, and Andrzej Kulik, "Versatile force-feedback manipulator for nanotechnology applications", *Review of Scientific Instruments*, Volume 76 Issue 5, 2005.
- [8] A. Kosinska, M. Galicki K. Kedzior, "Designing and Optimization of Parameters of Delta-4 Parallel Manipulator for a Given Workspace", *Journal of Robotic*

*Systems*, Wiley Periodicals Inc., A Wiley Company, Volume 20, Issue 9, 2003, pp. 539-548.

- [9] Weimin Li, Feng Gao, Jianjun Zhang, "R-CUBE, a decoupled parallel manipulator only with revolute joints", *Mechanism and Machine Theory*, Elsevier, Volume 40, Issue 4, April 2005, pp. 467-473.
- [10] Gosselin CM, StPierre E, Gagne M, "On the development of the Agile Eye", *Robotics & Automation Magazine*, IEEE, IEEE, 3, Issue: 4, Dec 1996, pp. 29-37.
- [11] A. Pashkevich, P. Wenger, D. Chablat, "Design strategies for the geometric synthesis of Orthoglide-type mechanisms", *Mechanism and Machine Theory*, Elsevier, Oxford, vol. 40, ROYAUME-UNI, 2005, pp. 907-930.