

Haptik Cihazlarda Yer Çekimi Telifisinin Kullanıcı Performansı Üzerindeki Etkileri

Sercan Boztaş, Barış Taner, Mehmet Görkem Karabulut, Mehmet İsmet Can Dede

İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü, Gülbahçe, 35340 İzmir, Türkiye

sercanboztas@iyte.edu.tr
baristaner@iyte.edu.tr
mehmetkarabulut@iyte.edu.tr
candede@iyte.edu.tr

1. Özetçe

Bu çalışma kapsamında, iki farklı sanal gerçeklik testi, yer çekimi etkisinin ortadan kaldırılması sonucu haptik cihazlardaki görevlerin kolaylaşp kolaylaşmadığını incelemek amacıyla oluşturulmuştur. Sonuçlar iki farklı deneysel test için 2 farklı seviyede yer çekimi telifi yapılarak elde edilmiştir. Birbirinden farklı özelliklere sahip bu iki testin parametreleri kullanıcı konforu, görevdeki hassasiyet ve görevin tamamlanma süresi olarak belirlenmiştir. Yapılan testlerin sonuçlarına göre yer çekimi telifi kullanıcı konforunu ve görevin tamamlanma süresini arttırmaktadır ancak görevleri kolaylaştırıp kolaylaşmadığı görevlerin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir.

2. Giriş

Teleoperasyon kelime kökeni olarak Yunanca mesafe anlamına gelen “tele” kelimesinden türetilmiştir ve insanların bir cihazı uzak mesafelerden manipüle edebilmesini ifade eder[1]. İnsanların çalışmasının zor veya tehlikeli olduğu afet bölgeleri, nükleer santraller, uzay çalışmaları ve ağır makineli çalışma ortamlarında görevlerin yerine getirilmesi için etkili bir yoldur[1]. Ancak teleoperasyon kullanıcıya çalışma ortamı ile ilgili bir geri bildirim sağlamadığı için görevlerin yerine getirilmesinde yetersiz kalmaktadır[2]. Bu sebeple operatör ile uzak cihaz arasında, kullanıcıyı ortama daha çok dahil edebilmek adına görsel geri bildirim yanında kuvvet geri bildirimi de verilmektedir. Bu da haptik teknolojisi ile sağlanmaktadır[3]. Haptik cihazlarda geri bildirim uzak çalışma ortamındaki bağımlı sistem üzerinden sensörler ile alınıp, operatörün kullandığı ana sisteme iletilmesidir ve gelen geri bildirimler ile insan duyularını harekete geçirir. Bu gerçeklik teleoperasyon sırasında kullanıcının, sanal veya gerçek, uzak çalışma ortamında bir cismi tutma ya da bir cismi itme sırasında daha hassas çalışmalar yapabildiğini sağlar [2, 4].

Haptik cihazlar yönetici cihazın ağırlığı gibi bozucu etkilerle gerçek dışı ya da operatörü yorucu bir kuvvette yaratabilir[5] ve bu da operasyonun zamanla yanlış ya da yetersiz gerçekleştirilmesine neden olabilir. Bu sebeple, yer çekimi telifi yöntemleri yer çekimi etkisinin ortadan kaldırılması amacıyla kullanılmaktadır.[6]

Bu çalışmada yer çekimi telifi yöntemlerinin haptik cihazlarda görevlerin tamamlanmasını kolaylaştırıp

kolaylaşmadığını tesbit etmek için tutarlı sonuçlar elde edebileceğimiz deneysel çalışmalar tasarlandı.

3. Haptik Arayüzü, Yönetici Sistem ve Özellikleri

Testler sırasında, Matlab Simulink arayüzü ve Novint Technologies firmasının ürünü olan ve 3 serbestlik derecesine sahip Novint Falcon haptik cihazı kullanılmıştır. Novint Falcon aslında bilgisayar oyunları için bir oyun aksesuarı olarak tasarlanmıştır. Cihaz Şekil 1 de gösterilmiştir.

Kullanıcılar küresel tutamağı üç boyutlu uzayda doğrusal olarak hareket ettirebilirler ve cihazdan bilgisayara konumu ile ilgili veri girişi sağlarlar. Aynı zamanda, kuvvetler sanal ortamda yapılan modeller ile hesaplanır ve cihaz sayesinde kullanıcıya iletilir. Bu yolla Falcon, duvarı itmek ya da yükü kaldırmak gibi, sanal kuvvetler üretebilir. Falcon basit geometri simüle etmek için 400 DPI pozisyon çözünürlüğüne sahiptir ve herhangi bir yönden 8 Newton kuvvet uygulayabilmektedir. Falcon bir çeşit kuvvet geri bildirimli bilgisayar oyun kontrolörü olarak amaçlanmışsa da, diğer robotik uygulamalarda da kullanılmaktadır. Novint Falcon'un nispeten düşük maliyetli olması onu fonlanmamış akademik çalışmalar için uygun bir platform olmasını sağlamaktadır. Falcon'un Windows da çalışmasını sağlamak için sadece Windows derleyicisi olan SDK gerekmektedir, bu da Quarc 2.1 içerisindeki Novint Falcon bloğu ile arayüz sağlanmakta ve donanımın çevrimiçi çalışması için, Matlab Simulink de kontrol algoritmalarının geliştirilmesine izin vermektedir.

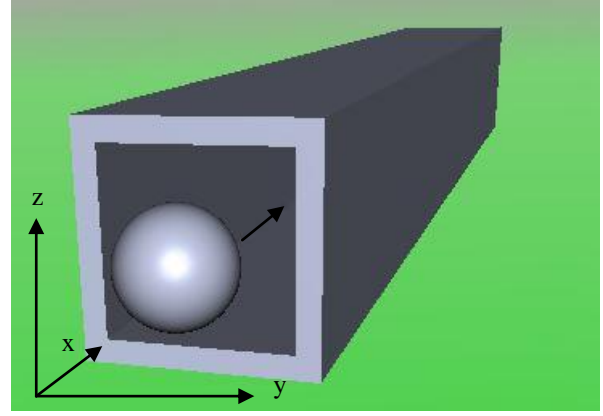


Şekil 1: Novint Falcon Haptic Cihazı [7]

Novint Falcon'un teknik özellikleri Tablo 1 de gösterilmiştir.

Tablo 1: Novint Falcon Teknik Özellikler [8]

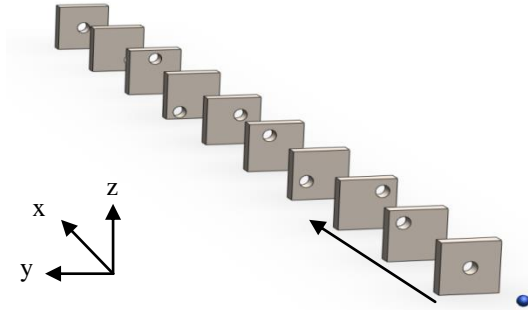
Novint Falcon	
Çalışma Uzayı	101x 101 x 101 (mm)
Kuvvet Değerleri (x,y,z)	>8.5 N
Pozisyon Çözünürlüğü	>400DPİ
İletişim Arayüzü	USB 2.0
Büyükük	228 x 228 x 228 (mm)
Ağırlık	26.689 N
Güç	30 W, 100V-240V,50Hz-60Hz
Cihaz Girdisi	30 VDC, 1.0 A



Şekil 3: Tünel Testi

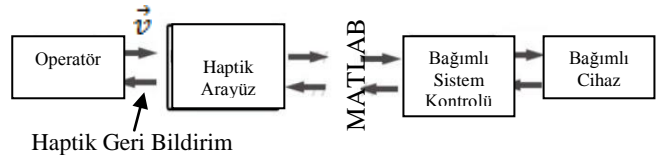
4. Test Düzenegi

Bu çalışma kapsamında iki farklı test düzenegi tasarlanmiştir. Belirlenen testlerden Top Engel Testi (TET) operatörün daha çevik olmasını beklerken, Tünel Testi (TT) süreklilik gerektiren hareketler istemektedir. TET 'de kullanıcı bir topu kontrol ederek en kısa süre içinde engellerin içerisinde geçerek parkuru tamamlamaya çalışır. TT 'de ise kullanıcı yönettiği topun duvarlar ile temas etmeden kısa sürede parkuru bitirmeyi amaçlar. Yapılan her iki teste zamana bağlı kullanıcı hataları kaydedilmiştir. Testler için tasarlanan sanal gerçeklik ortamı Şekil 2 ve 3 de gösterilmiştir.



Şekil 2: Top Engel Testi

Buna uygun olarak SolidWorks ortamında bağımlı sistem ve sanal gerçeklik ortamı tasarlanmıştır. Bu tasarımlar için Simulink ortamında, haptik çevre matematiksel olarak modellenmiştir. Ana sistemden alınan sinyal bağımlı sisteme hız sinyali olarak Matlab arayüzü üzerinden Şekil 4 de gösterildiği gibi gönderilmiştir ve kuvvet geri bildirim de bu arayüzden ana sisteme beslenmiştir.



Şekil 4: Hareketin Oluşturulması [9]

Kuvvet aşağıda gösterildiği gibi modellenmiştir. Bu modelde X, Y ve Z topun koordinatlara göre konumunu vermektedir. Böylelikle tüm duvarlardan kuvvet geri bildirim alınmaktadır. Denklem (1) Z eksenindeki kuvvet modelini vermektedir. Diğer eksenler içinde aynı kuvvet modeli kullanılmaktadır.

$$\left\{ \begin{array}{l} z_{\text{limit-}} < Z < z_{\text{limit+}} \\ y_{\text{limit-}} < Y < y_{\text{limit+}} \\ z_{\text{kole}} > Z_{\text{duvar}} \\ \text{aksi halde} \end{array} \right. ; \left. \begin{array}{l} F_z = b_z + k_z \\ F_z = 0 \end{array} \right\} \quad (1)$$

Her denek, her iki test ortamı için, önce tam yer çekimi etkisi kaldırılmış sistemde, daha sonra kısmi yer çekimi kaldırılmış sistemde, son olarak da yer çekimi etkisinin kaldırılmadığı sistemde, her biri için 3 kez teste sokulmuştur. Bu testlerde hata fonksiyonu e(t) şu şekilde tasarlanmıştır:

$$e(t) = \begin{cases} F(t) > G; & e(t) = |F(t)| * t \\ F(t) < G; & e(t) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

G temaslar için eşik değeridir aynı zamanda operatör hataları olarak da alınabilir.

Deneklerin görev süreleri ile görev sırasında gerçekleşen duvar ile topun belirli eşik değer üzerindeki hata değerlerine sahip temaslarının süreleri Matlab aracılığı ile toplandı. 5 denek için bu verilerin ortalamaları hesaplandı. Hesaplanan veriler bir sonraki bölümde verilmiştir.

5. Test Sonuçları

Test sonuçları Tablo 2, 3 ve Tablo 4, 5 de belirtilmiştir. Tablo 2, 3 ve Tablo 4 de 5 test seti için görev süreleri ve yapılan hata miktarları toplanmıştır. Hata ve geçirilen zaman değerleri ortalamalarıyla %95 güvenirlilik derecesi üst ve alt limitleri ile verilmiştir. Tablolarda verilen "O" değerleri her denek için aynı yer çekimi telafisi seviyesinde yapılan 3'er testin ortalamasını temsil etmektedir. Hatalar farklı telafi seviyelerinde toplanmıştır ve "0N", "-3N" ve "-8N" bu yer çekimi telafi seviyelerini ifade etmektedir.

Tablo 2: Top Engel Testi Hata Verileri e(t)

	Hata, e(t)		
	0N	-3N	-8N
O1	9.33	62.33	0
O2	28	37.66	52
O3	261.66	254.66	201
O4	97.66	44.66	115.66
O5	25.33	17.33	40.66
Genel Ortalama	84.396	83.328	81.864
σ	104.765	97.124	78.465
Alt Limit	-45.6867	-37.2671	-15.5629
Üst Limit	214.4787	203.9231	179.2909

Tablo 3: Top Engel Testi Geçirilen Zaman Verileri

	Geçirilen Zaman		
	0 N	-3N	-8N
O1	27.67	32.45	29.5
O2	27.88	26.46	26.09
O3	24.13	20.47	26.71
O4	21.89	19.79	19.65
O5	29.5	32.24	29.31
Genel Ortalama	26.214	26.282	26.252
σ	3.1118	6.1135	3.9913
Alt Limit	22.3502	18.6911	21.2961
Üst Limit	30.0778	33.8729	31.2079

Tablo 3 deki ortalama değer verilerine bakacak olursak, yer çekimi telafisinin haptik cihazlarda görev tamamlama sürelerini kısalttığı görülecektir. Yer çekimi telafisi görev tamamlama sürelerini kısaltmaktadır ancak görevlerde yapılan hatalarda tam tersi artmaktadır. Bu nedenle deneklerin yer çekimi etkisi ortadan kaldırılmadan önce görevlerini daha başarılı bir şekilde tamamladıkları Tablo 2 ye bakılarak söylenebilir.

Tablo 4 de verilen veriler duvar top testinde toplanan verilerden farklı sonuç vermektedir. Daha çok dayanıklılık gerektiren TT 'de veriler göstermektedir ki, denekler yer çekimi etkisi ortadan kaldırıldığında daha az hata yaparak görevlerini tamamlamışlardır. Görevi tamamlamak için harcadıkları zaman her ne kadar yapılan hatalardaki

değişim ile aynı eğilimi göstermesede, harcanan zamanda da artış olmamıştır.

Tablo 4: Tünel Testi Hata Verileri e(t)

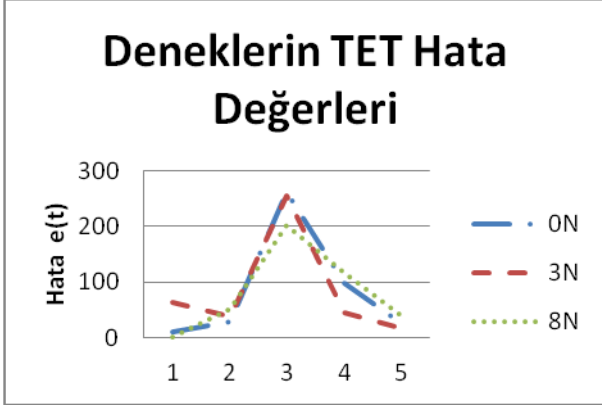
	Hata, e(t)		
	0N	-3N	-8N
O1	115.66	164	243.66
O2	54.66	207.33	249
O3	92	140.66	272.33
O4	33.33	82	197
O5	0	5.66	59.33
Genel Ortalama	59.13	119.93	204.264
σ	45.98389	78.2735	85.5057
Alt Limit	2.03352	22.74059	98.0945
Üst Limit	116.2265	217.1194	310.4335

Tablo 5: Tünel Testi Geçirilen Zaman Verileri

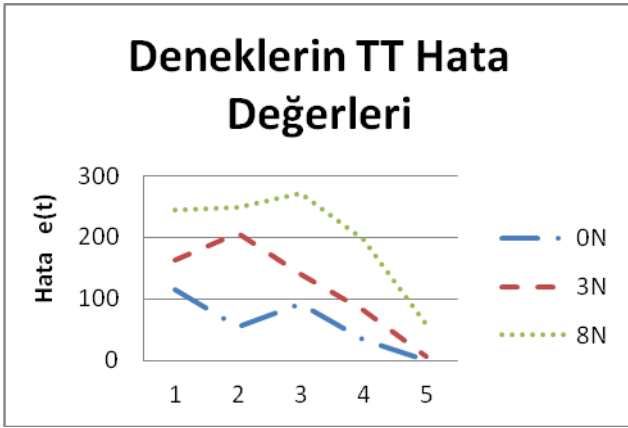
	Geçirilen Zaman		
	0 N	-3N	-8N
O1	58.51	56.33	61.32
O2	56.28	54.02	60.58
O3	41.79	50.38	52.78
O4	53.54	55.7	52.28
O5	57.46	61.77	61.37
Genel Ortalama	53.516	55.64	57.666
σ	6.8124	4.1337	4.7023
Alt Limit	45.0573	50.5074	51.8274
Üst Limit	61.97469	60.7726	63.5046

Şekil 1 ve 2 de her bir denek tarafından yapılan hatalar yer çekimi kuvveti miktarına göre grafik olarak gösterilmektedir. Yatay eksenler denek numaralarını, dikey eksenler ise hata miktarlarını göstermektedir

Tablo 6: Top Engel Testi İçin Anket Sonuçları



Şekil 5: Top Engel Testinde Deneklerin Yaptığı Hata değerleri (0 N-Tam Yer çekimi Telifisi, 3N-Kısmi Yer çekimi Telifisi, 8 N-Yer çekimi Telifisi Yok İken)



Şekil 6: Tünel Testinde Deneklerin Yaptığı Hata değerleri (0 N-Tam Yer çekimi Telifisi, 3N-Kısmi Yer çekimi Telifisi, 8 N-Yer çekimi Telifisi Yok İken)

Şekil 5 ve 6 tüm yer çekimi kuvvetleri için deneklerin hata miktarlarını vermektedir. Şekiller göstermektedir ki TET 'de denekler yer çekimi telifisi yapılmış önceki sonuçlarına göre yer çekimi etkisi altında biraz daha iyi sonuçlara sahipler. Ancak şekil 6 da gösterilen tünel testi değerleri yer çekimi etkisi altında deneklerin daha fazla hata yaptıklarını göstermektedir.

Tablo 6 ve 7 tüm testler bittiğinde deneklerden elde edilen geri bildirimlerdir. Bu sonuçlara göre TET 'de, yer çekimi etkisinin kaldırılması, deneklerin büyük oranda konforunu artırmıştır. Kullanım kolaylığının ve görev başarısının da kısmen arttığı söylenmiştir. TT 'de denekler, konfor artışının, kullanım kolaylığının ve görev başarısının artışı daha kesin bir şekilde söylemişlerdir.

Top Engel Testi										
Yorgunluğu Azaltıyor	X	X								Kesinlikle
	O	O	O	O	O					Büyük Oranla
	V									Kısmen
										Hiç
Kullanım kolaylığını artırıyor										Kesinlikle
	O	O	O							Büyük Oranla
	V	V	V							Kısmen
	+	+								Hiç
Görev Başarısını Artırıyor										Kesinlikle
	O	O								Büyük Oranla
	V	V	V	V	V					Kısmen
	+									Hiç

Tablo 7: Tünel Testi İçin Anket Sonuçları

Tünel Testi										
Yorgunluğu Azaltıyor	X	X	X							Kesinlikle
	O									Büyük Oranla
										Kısmen
										Hiç
Kullanım kolaylığını artırıyor	X	X								Kesinlikle
	O									Büyük Oranla
	V									Kısmen
										Hiç
Görev Başarısını Artırıyor	X									Kesinlikle
	O	O								Büyük Oranla
	V									Kısmen
										Hiç

Sonuçlar

Bu çalışmada yer çekimi kuvvetinin haptik cihazlarda bir görevi gerçekleştirirken etkisi incelenmiştir. Bunun için iki ayrı sanal gerçeklik testi tasarlanmıştır. Bunlardan ilki TET ve diğeri TT. Bu testler için denekler üniversite öğrencileri arasından seçilmiştir. Test sırasında kullanıcı hataları ve testi tamamlama zamanları ölçülerek değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca koldaki yorgunluk, yer çekimi telafi metodunun etkisi ve konfor gibi değerlendirmeler yapabilmek için kullanıcılarla anket yapılmıştır. Bu değerlendirmelere göre yer çekimi telafi metodu kullanıcının konforunu arttırdığı ve koldaki yorgunluğu azalttığı açıkça görülmektedir. Fakat yapılan iki ayrı test ile elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, TET yer çekimi telafi metodunun test sırasında yapılan hata oranının biraz artmıştır ancak ikinci testte açıkça hata oranında düşüş olmuştur. Sonuç olarak yer çekimi etkisinin ortadan kaldırılması yorgunluğu azaltmaktadır ve kullanıcı konforunu arttırmaktadır ancak test sırasında kullanıcının hatasına etkisi testin içeriğine bağlıdır. Yani yer çekimi etkisinin ortadan kaldırılması kullanıcıya hareket hassasiyeti sağlamıştır fakat bu engeller içinden geçilen bir test için kullanıcıya avantaj

sağlamazken, düz bir hattı takip etmeyi gerektiren TT hata oranını oldukça düşürmüştür.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, haptik cihazlarda yer çekimi etkisinin telafisi, görevin karakterine bağlı olarak, operatörlerin başarısını artırmış ve azaltmıştır. Dolayısı ile yer çekimi etkisinin ortadan kaldırılması, görevin başarı ile tamamlanmasında her zaman olumlu bir etki göstermemektedir.

Anketlerden görüldüğü gibi TET denekler görev başarısının yer çekimi etkisinin kaldırılmasıyla kısmen de olsa arttığını belirtmişlerdir ancak test sırasında toplanan verilere göre deneklerin hataları artmıştır. Bu da bize deneklerin yer çekimi olmaksızın sanal gerçeklik ortamına dahil olmadıklarını ve yaptıkları hataları bile kestiremediklerini göstermektedir.

Kaynakça

- [1]. Hokayem, P.F. and M. Spong, *Bilateral teleoperation: An historical survey*. Automatica, Cilt:42, No:12, s. 2035-2057, 2006.
- [2]. Boessenkool, H., et al., *A Task-Specific Analysis of the Benefit of Haptic Shared Control During Telemanipulation*. IEEE TRANSACTIONS ON HAPTICS, Cilt: 6, 2013.
- [3]. Şahin, O.N., *Unlimited-Workspace Teleoperation*. (A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Science of İzmir Institute of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of MASTER OF SCIENCE in Mechanical Engineering), 2012.
- [4]. Wildenbeest, J.G.W., et al., *The Impact of Haptic Feedback Quality on the Performance of Teleoperated Assembly Tasks*. Haptics, IEEE Transactions on, Cilt: 6, No: 2, s. 242-252, 2013.
- [5]. Nishimura, K. and K. Ohnishi, *Gravity estimation and compensation of grasped object for bilateral teleoperation*, in *9th IEEE International Workshop*, IEEE. s. 72-77, 2006
- [6]. Eckenstein, N. and M. Yim, *Modular Advantage and Kinematic Decoupling in Gravity Compensated Robotic Systems*. Journal of Mechanisms and Robotics-Transactions of the Asme, Cilt: 5, No: 4, 2013.
- [7]. *Novint Falcon Haptic Device*. 2012 20.05.2014; Bulunduğu site: <http://www.novint.com/index.php/products/novintfalcon>.
- [8]. *Novint Falcon Specifications*. 2012 20.05.2014 22.05.2014; Bulunduğu site: <http://www.novint.com/index.php/novintxio/41>.
- [9]. Uzunoğlu, E., *Position/Force Control Of Systems Subjected To Communication Delays And Interruptions In Bilateral Teleoperation*, s. 30,31,32, 2012